

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

К. В. ДОЛЯ,
О. Є. ДОЛЯ

Геоінформаційні системи на транспорті

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018

УДК [528:004:656](075)
Д65

Автори:

Доля Костянтин Вікторович – кандидат технічних наук;

Доля Олена Євгенівна – кандидат технічних наук

Рецензенти:

Альошинський Євген Семенович – доктор технічних наук, професор кафедри транспортні системи та логістика Українського державного університету залізничного транспорту;

Воронін Сергій Володимирович – доктор технічних наук, професор кафедри транспортні системи та логістика Українського державного університету залізничного транспорту

Рекомендовано до друку Вченою радою

Харківського національного університету міського господарства

імені О. М. Бекетова як навчальний посібник,

протокол № 6 від 23.12.2016.

Доля К. В.

Д65 Геоінформаційні системи на транспорті : навч. посібник / К. В. Доля, О. Є. Доля ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 230 с.

У посібнику викладено основні поняття географічних інформаційних систем, розглянуто основи теорії систем, основні положення щодо концепції геоінформаційних систем, види та типи сучасних геоінформаційних систем, сучасні програмні засоби. Викладено принципи проектування, дії та застосування геоінформаційних систем, наведено засоби та технології, визначено основні напрями використання геоінформаційних систем в галузі транспорту.

Посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальністю 275 – Транспортні технології, аспірантів, а також може бути корисний для інженерів транспорту.

УДК [528:004:656](075)

© К. В. Доля, О. Є. Доля, 2018

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ВСТУП В ГЕОІНФОРМАТИКУ	6
1.1 Поняття ГІС.....	9
1.2 Функціональні можливості ГІС.....	10
1.3 Загальна структура ГІС.....	11
1.4 Класифікація ГІС.....	13
1.5 Організація даних в ГІС.....	18
2 МОДЕЛІ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ.....	20
2.1 Класифікація моделей.....	20
2.2 Нетопологічна модель даних.....	23
2.2.1 Шейп-модель.....	23
2.2.2 САПР-модель.....	25
2.3 Топологічна модель даних «Покриття».....	25
2.4 Модель транспортної мережі.....	27
2.5 Растрова модель даних.....	28
2.6 Тріангуляційна модель поверхонь.....	29
2.7 Геореляційна модель даних.....	32
2.8 Геобаза даних.....	34
3 СТРУКТУРА І ДЖЕРЕЛА ГЕОДАНИХ.....	37
3.1 Системи координат.....	37
3.2 Картографічні проєкції.....	42
3.3 Картографічні та координатні сітки.....	55
3.4 Разграфка і номенклатура карт.....	56
3.5 Джерела просторових даних.....	58
3.6 Векторизація.....	59
3.7 Дистанційне зондування.....	61
3.8 Геодезичні дослідження.....	65
3.8.1 Геодезичні прилади.....	65
3.8.2 Тахеометрична зйомка.....	69
3.8.3 Лінійні вишукування.....	72
3.8.4 Геодезичні побудови.....	73
3.9 Глобальні системи позиціонування.....	75
3.10 Фото- і відеозйомка.....	78
3.11 Формати даних.....	81
4 РОБОТА З КАРТАМИ В ГІС.....	84
4.1 ГІС-проєкти.....	84
4.2 Навігація по карті.....	85
4.3 Отримання інформації за об'єктами.....	87

4.4	Гарячий зв'язок.....	88
4.5	Відеоряди.....	89
4.6	Публікація карт.....	90
5	ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ.....	95
5.1	Тематичні карти.....	95
5.2	Умовні знаки.....	95
5.3	Візуалізація векторних даних.....	102
5.4	Візуалізація растрових даних.....	105
5.5	Візуалізація транспортних мереж.....	106
5.6	Візуалізація поверхонь.....	108
5.7	Тривимірна візуалізація.....	110
5.8	Картографічні анімації.....	115
6	ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ.....	119
6.1	Вимірювальні операції.....	119
6.2	Векторний аналіз.....	120
6.2.1	Аналіз відносин.....	120
6.2.2	Відсікання і розрізання.....	125
6.2.3	Оверлейні операції.....	127
6.2.4	Буферні зони, оболонки, зони близькості.....	129
6.2.5	Генералізація.....	131
6.2.6	Застосування операцій векторного аналізу.....	134
6.3	Геостатистика.....	134
6.4	Мережевий аналіз.....	136
6.5	Аналіз поверхонь.....	140
7	ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ГІС.....	142
7.1	Ринок ГІС.....	142
7.2	Повнофункціональні ГІС.....	143
7.2.1	ArcGIS 9.1.....	144
7.2.2	Map Info 8.0.....	158
7.2.3	Autodesk Map 3D 2006.....	159
7.2.4	Geo Media 6.0.....	162
7.3	Растрові ГІС.....	164
7.3.1	ERDAS Imagine 8.7.....	164
7.3.2	ER Mapper 7.0.....	166
7.3.3	PHOTOMOD.....	166
7.4	Засоби обробки геодезичних даних.....	169
7.5	Векторизатор.....	170
7.5.1	MapEDIT 5.0.....	170
7.5.2	Easy Trace PRO 8.0.....	172

8 ЗАСТОСУВАННЯ ГІС.....	174
8.1 Довідкові ГІС.....	174
8.2 Навігаційні ГІС.....	178
8.3 Диспетчерські ГІС.....	182
8.4 ГІС і бізнес.....	185
8.5 ГІС та органи влади.....	189
8.6 ГІС та містобудівний кадастр.....	191
8.7 ГІС та планування розвитку міст і регіонів.....	195
8.8 ГІС та інженерні мережі.....	197
8.9 ГІС і залізничний транспорт.....	200
8.10 ГІС та сільське господарство.....	203
8.11 ГІС та лісове господарство.....	204
8.12 ГІС та надрокористування.....	205
8.13 ГІС і екологія.....	206
8.14 ГІС і оборона.....	207
8.15 ГІС та освіта.....	209
9 ЗАСТОСУВАННЯ ГІС НА ЗЕМЛЯХ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА.....	210
9.1 Інформаційні технології в дорожньому господарстві.....	210
9.2 Програми розвитку і обґрунтування інвестицій.....	211
9.3 Проектування і реалізація проектів доріг.....	213
9.4 Транспортні потоки і організація руху.....	214
9.5 Паспортизація, інвентаризація та кадастр.....	219
9.6 Експлуатація автомобільних доріг.....	223
ВИСНОВКИ.....	225
Список використаних джерел.....	226

ВСТУП

Дорожнє господарство є однією з найважливіших галузей економіки промислово розвиненої країни. Недарма автомобільні дороги називають «кровоносною системою» держави. Вони відіграють величезну роль в житті сучасного суспільства.

У провідних країнах світу фінансування дорожнього господарства становить приблизно 3–4 % ВВП (валового внутрішнього продукту) країни. Винятком є тільки США і Японія, де достатньо розвинена дорожня мережа і високий рівень ВВП визначають витрати на дорожнє господарство в розмірі 1,1–1,5 % ВВП (приблизно 120 і 80 млрд дол., відповідно), що більш ніж в 10 разів перевищує цей показник для України.

До того ж в Україні внаслідок того, що протяжність території досить велика, транспортні витрати набагато більші за середньосвітові показники.

Автомобільні дороги капіталомісткі, але водночас і дуже рентабельні споруди. Відомо, що кожна гривня, вкладена в автомобільні дороги, у перспективі багаторазово (3–5) окупується в інших галузях економіки внаслідок зниження транспортних (логістичних) витрат, зниження аварійності, збільшення рухливості населення. Крім того, розвиток мережі автомобільних доріг регіону містить важливий соціальний ефект у вигляді забезпеченості населення медичними, освітніми, культурно-побутовими послугами. На сьогодні наявність розвиненої мережі автомобільних доріг є важливим фактором інвестиційної привабливості регіону.

Однією з особливостей дорожнього господарства порівняно з іншими галузями економіки є те, що її базові споруди (автомобільні й міські дороги) є складними інженерними лінійно-протяжними спорудами з яскраво вираженим географічним підґрунтям. Із огляду на це базова технічна документація щодо автомобільних доріг необхідно надавати графічно – на картографічній основі або у вигляді умовних схем і креслень.

Зазначене зумовлює вибір різновидів комп'ютерних технологій, які будуть використовуватися під час управління автомобільними дорогами на різних етапах їхнього життєвого циклу. Усі етапи життєвого циклу дороги пов'язані логічними й функційними зв'язками, які можуть бути й циклічними.

Серед безлічі різновидів програмних технологій, які працюють із графічною інформацією, у дорожній галузі широко використовуються програмні технології ГІС і САПР. Крім того, для роботи з атрибутивною інформацією застосовуються технології баз даних (далі – БД). На різних етапах життєвого циклу дороги застосовуються окремі інформаційні системи, але зазвичай вони поєднуються.

Системи автоматизованого проектування (далі – САПР) необхідні для того, щоб автоматизувати різні етапи проектування автомобільних доріг. Системи мають багато засобів для роботи з кресленнями і схемами елементів доріг, а також дають змогу працювати з топографічними планами у великому масштабі. Головною метою роботи в САПР є створення проектно-технічної документації у вигляді креслень, таблиць і відомостей. Крім того, САПР використовуються і на етапі будівництва, але здебільшого тільки для документування результатів виконавчою знімання і передачі їх у ГІС і БД.

Геоінформаційні системи (далі – ГІС) призначені для управління великою кількістю різномасштабної картографічної інформації, аналізу взаємозв'язків об'єктів у просторі, управління атрибутивними характеристиками об'єктів. На етапах проектування й планування розвитку мережі доріг ГІС вони допомагають проаналізувати різні варіанти проходження автомобільних доріг України державного значення насамперед як засіб відображення тематичних карт і інструмент просторового аналізу.

Під час експлуатації автомобільних доріг найголовнішим стає те, що ГІС можуть тісно співпрацювати з атрибутивною інформацією, яка зберігається в базах даних. ГІС дає змогу швидко знаходити об'єкти на карті й отримувати про них детальну інформацію. З іншого боку, за певним запитом БД результат можна наочно зобразити на карті.

Викладений вище системний підхід до формування інформаційної бази для управління автомобільними дорогами на всіх стадіях їхнього функціонування задовольняє всі сучасні вимоги дорожнього господарства, співвідносячись до того ж з можливостями сучасних інформаційних технологій.

Відповідно до цього в навчальному посібнику викладено основи геоінформаційних технологій, які є головним елементом комплексного програмно-технічного рішення для дорожнього господарства.

подано основи сучасних ГІС-технологій, описуються прийоми роботи в сучасних ГІС, а також розглядаються різні прикладні ГІС для роботи в дорожньому господарстві і деяких суміжних галузях.

Посібник складається з 12 розділів, які умовно можна розділити на дві частини – теоретичну й практичну.

Теоретична частина посібника міститься 1-6 розділах, у яких подаються загальні положення геоінформатики, без прив'язування до їх певних програмних продуктів і з мінімальним прив'язуванням до дорожнього господарства.

Перший розділ знайомить читача із загальними положеннями геоінформатики, різновидами, функціями й організацією цих геоінформаційних

систем, а також подано початковий екскурс в типову ГІС з погляду користувача.

У другому розділі вивчаються різні моделі просторових даних, що використовуються в геоінформатиці для моделювання географічно розподілених об'єктів.

У третьому розділі детально розглядаються структура й джерела надходження просторових даних в геоінформаційні системи. Особлива увага приділяється тим технологіям, які застосовуються в дорожньому господарстві.

У четвертому розділі наводяться базові прийоми роботи в ГІС з погляду звичайного користувача. У цьому розділі розглядаються загальне поняття ГІС-проекту, способи управління проектами, а також базові режими роботи з картами в ГІС (навігація, отримання інформації, гарячий зв'язок). Також розповідається про роботу з відеорядами – особливим режимом роботи ГІС, специфічним для дорожньої галузі.

У п'ятому розділі розглянуто різні види умовних знаків в ГІС і способи їхнього застосування для візуалізації даних, що зберігаються в геоінформаційних системах.

У шостому розділі вивчаються різні методи просторового аналізу ГІС-даних, включаючи картометричні й геостатистичні методи, методи векторного й мережного аналізу, а також методи аналізу поверхонь (моделей рельєфу).

Практична частина посібника включає 7–12 розділи. У них на прикладі сучасних програмних продуктів розглянуто прийоми роботи з сучасними геоінформаційними технологіями в дорожньому господарстві.

Сьомий розділ ознайомлює з різноманітними програмними засобами ГІС.

У восьмому розділі описано комплексне програмно-технічне забезпечення дорожнього господарства IndorRoad, пропоноване ТОВ «ІндорСофт», сполучним ядром якого є універсальна ГІС IndorGIS і інформаційна система автомобільних доріг IndorGIS/Road.

У дев'ятому розділі розглянуто IndorGIS 5.2, описано загальну структуру ГІС, подано головні прийоми роботи в системі.

У десятому розділі проаналізовано інформаційну систему автомобільних доріг IndorGIS/Road 3.0 – спеціалізовану базу даних, яка базується на державній виконавчу службі IndorGIS і призначена для зберігання й аналізу атрибутивної інформації щодо автомобільних і міських доріг. У розділі подається загальна характеристика системи, а також описано головні прийоми роботи з нею.

В одинадцятому розділі розглядаються деякі особливості застосування геоінформаційних технологій (крім дорожнього господарства). Тут описано

застосування ГІС на транспорті, у містобудуванні, у кадастрі, а також у деяких інших галузях і сферах діяльності людини.

У дванадцятому розділі розглядаються можливості застосування ГІС в дорожньому господарстві на всіх етапах життєвого циклу автомобільних доріг – від планування розвитку й проектування – до будівництва й подальшої експлуатації. У цьому розділі автори спробували показати унікальну роль ГІС-технологій в інтеграції найрізноманітніших інженерних даних щодо автомобільних доріг, а отже, і в підвищенні якості прийнятих інженерно-технічних і управлінських рішень.

1 ВСТУП В ГЕОІНФОРМАТИКУ

1.1 Поняття ГІС

Перші геоінформаційні системи (ГІС) з'явилися в 60-х рр. минулого століття в Канаді, США та Швеції. Ці системи тоді мали істотні програмні й технічні обмеження і широко не застосовувалися. Приблизно протягом 20 років (до 80-х років минулого століття) відбувалися становлення *геоінформатики* як науки, відпрацьовувалися методологічні підходи до створення ГІС, формувався математичний апарат, розроблялися моделі даних і алгоритми їхнього оброблення. Одночасно відбулося стрімке поширення комп'ютерної техніки та розширення її можливостей. Все це в підсумку призвело до якісного переходу геоінформатики на новий рівень.

Варто зауважити, що спочатку термін ГІС розшифровувався як *географічна інформаційна система*. Однак у наш час такий термін вважається застарілим і його потрібно застосовувати тільки для позначення геоінформаційних систем, призначених для вирішення географічних завдань.

Сьогодні геоінформаційні системи використовуються для вирішення найрізноманітніших завдань у різних галузях економіки.

Визначення. *Геоінформаційна система (ГІС)* – це інформаційна система, призначена для збирання, зберігання, оброблення, відображення й поширення даних, а також отримання на їхній основі нової інформації і знань про просторово координовані об'єкти і явища.

Таким чином, фундаментальною особливістю ГІС, порівняно з іншими інформаційними системами, є те, що всі модельовані в ГІС об'єкти і явища різняться просторовим прив'язуванням, яке дає змогу аналізувати їх у взаємозв'язку з іншими певними просторовими об'єктами. Крім того, ГІС кардинально відрізняються від більшості інших інформаційних систем тим, що

вся інформація в геоінформаційних системах наочно подається у вигляді електронних карт, уможливллюючи отримання нових знань.

Головною відмінністю електронних карт в ГІС від паперових карток є те, що в ГІС карта не є звичайною статичною картинкою. Кожен умовний знак, зображений в ГІС, відповідає деякому об'єкту, який можна проаналізувати, зокрема отримати вичерпну додаткову (неграфічну) інформацію з бази даних. Приміром, однією з базових функцій ГІС є отримання інформації за обраним на карті об'єктом. Указавши в ГІС курсором мишки міст на дорозі, можна отримати детальну інформацію про його протяжність, кількість прогонів, балок і опор, ступінь зношення тощо.

Загалом можна зазначити, що в ГІС зображення на екрані завжди відповідає деякому набору даних, що зберігаються в базі даних ГІС. До того ж завжди можна перейти від умовного знака на екрані до об'єкта в базі даних і отримати необхідну інформацію. Знайшовши за деяким критерієм об'єкт в базі даних, можна також швидко знайти його на карті. Розширені можливості пошуку просторових об'єктів зазвичай називають *атрибутами об'єктів*.

1.2 Функційні можливості ГІС

Класична схема функцій ГІС, запропонована «патріархом» геоінформатики канадцем Р. Томлінсом, наведена на рисунку 1.1. Відповідно до цих узагальнених функцій ГІС виокремлюють і підсистеми ГІС: підсистеми збору, обробки, аналізу тощо.

Ця схема відображає функції ГІС з погляду загальних цілей ГІС і технологічного процесу оброблення й аналізу просторових даних. Однак з погляду звичайного користувача робота в ГІС виглядає дещо інакше.

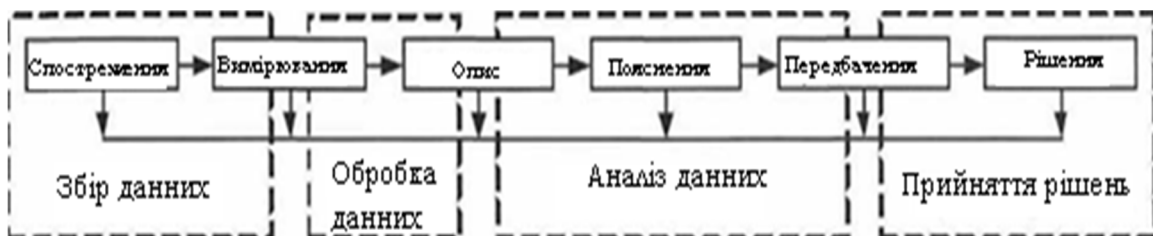


Рисунок 1.1 – Класичні функції інформаційної системи

1.3 Загальна структура ГІС

З погляду звичайного користувача геоінформаційна система – це програма для персонального комп'ютера, що дає змогу за допомогою віконного інтерфейсу переглядати електронні карти й аналізувати просторові дані, на яких базується карта.

На сьогодні склалися певні стереотипи того, як повинна виглядати ГІС. Це спричинило подібність сучасних ГІС. Одже, навчившись працювати з однією з них, можна буде користуватися і іншими.

Більшість сучасних ГІС на персональних комп'ютерах працює під управлінням операційної системи Microsoft Windows. Раніше було багато ГІС для робочих станцій під управлінням операційної системи Unix, проте зараз більшість виробників припинили розробляти ГІС для цієї ОС.

Головне вікно типової ГІС складається з п'яти головних частин. У верхній частині вікна розміщуються рядок меню і панель інструментів, а в нижній – рядок статусу для виведення різної поточної інформації. У центрі вікна розміщується зона для відображення карти, що складається з шарів (наборів однотипних даних). Збоку (зазвичай ліворуч) розташовується легенда карти – список шарів зі списком умовних знаків і позначень, що використовуються для відображення шарів.

Легенда шарів призначена для отримання інформації про спосіб відображення просторових даних на електронній карті, а також для завдання видимості тих чи інших наборів даних (країн, річок, озер, міст, градусної сітки). «Клацаючи» мишкою (натискаючи ліву кнопку мишки) в квадратик зліва від назви набору даних, можна вмикати і вимикати видимість шару на карті.

У зв'язку з тим, що картографічна інформація є насамперед графічною, а не текстовою, головним пристроєм для взаємодії користувача з ГІС є мишка, а не клавіатура, тому ключовим для ГІС є поняття *режиму роботи з картою*.

Режим роботи з картою визначає, яким чином вікно електронної карти реагує на переміщення курсора і натиснення кнопок мишки. Поточний режим зазвичай вибирають, натиснувши відповідну кнопку на панелі інструментів (рис. 1.2).

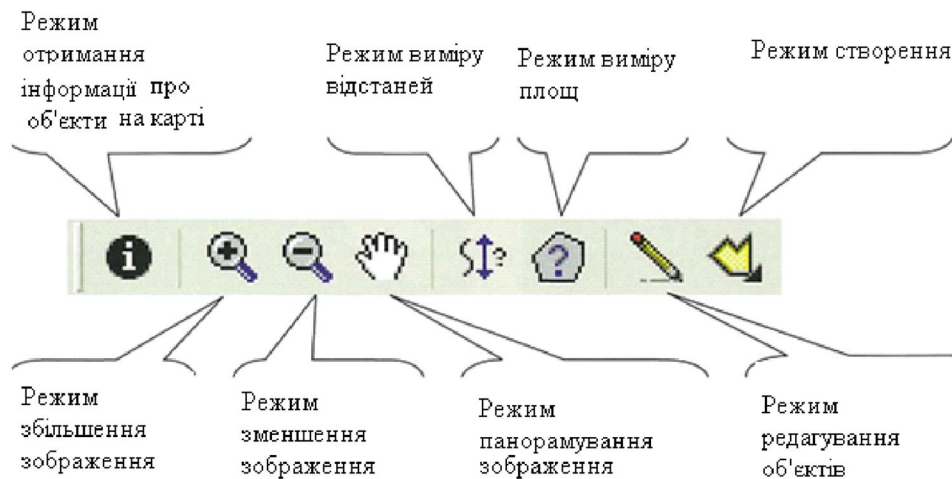


Рисунок 1.2 – Панель інструментів для вибору режиму роботи карти типовою ГІС на прикладі IndorGIS 5.2

Розглянемо головні режими роботи з картою.

1. *Режим отримання інформації про об'єкти на карті.* У цьому режимі користувач може вибрати курсором мишки об'єкт на карті, і після натискання на кнопку мишки на екрані з'явиться віконце з інформацією про зазначений об'єкт.

2. *Режим збільшення зображення.* У цьому режимі користувач повинен вказати мишкою прямокутну частину видимого зображення карти, яка необхідна збільшити до розміру всього вікна карти. Для цього потрібно натиснути кнопкою мишки в одному з кутів нового видимого прямокутника, потім, не відпускаючи кнопку, перемістити курсор в протилежний кут прямокутника і відпустити кнопку. Якщо користувач натисне й одразу відпустить кнопку мишки на карті, то зображення збільшиться незначно.

3. *Режим зменшення зображення.* У цьому режимі користувач повинен натиснути кнопку мишки на карті, щоб зображення трохи зменшилося. Якщо користувач виділить деякий прямокутник на карті, все поточне видиме зображення зменшиться і опиниться у виділеному прямокутнику.

4. *Режим панорамування.* Цей режим призначений для переміщення поточної видимої області зображення. Для цього необхідно натиснути кнопку мишки на зображенні карти і, утримуючи її, перемістити зображення в потрібному напрямі, після чого кнопку мишки потрібно відпустити.

5. *Режим вимірювання відстаней.* Цей режим призначений для вимірювання відстаней по карті. До того ж послідовними клацаннями мишкою по карті можна вказати ламану, а в рядку статусу побачити довжину всієї ламаної і її останнього сегмента.

6. *Режим вимірювання площ.* Цей режим призначений для вимірювання площі й периметра областей на карті. До того ж клацанням мишки можна вказати вершини деякого багатокутника на карті, а в рядку статусу отримати його площу й периметр.

7. *Режим редагування об'єктів.* Цей режим дає змогу змінити геометрію просторових об'єктів і їхні атрибутивні характеристики. Для цього потрібно мишкою виділити певний об'єкт на карті, після чого можна інтерактивно перемістити окремі вузли багатокутників і ламаних, а також змінити атрибути об'єкта в окремому вікні.

8. *Режим створення нових об'єктів.* Цей режим дає змогу створювати на карті нові об'єкти. Для цього потрібно вказати мишкою на карті точки або вузли створюваних багатокутників і ламаних.

Крім кнопок вибору режимів роботи з картою, на панелях інструментів є найрізноманітніші кнопки, призначені для роботи з електронними картами. Ці кнопки, як і аналогічні до них команди в головному меню ГІС, призначені для управління поточним видимим зображенням на екрані, для введення нових і редагування наявних даних, для виконання різних операцій просторового аналізу, друкування карт тощо.

1.4 Класифікація ГІС

У наш час геоінформаційними системами називають різні системи, за допомогою яких вирішують найрізноманітніші завдання. Із огляду на це існує декілька класифікацій, що забезпечують більш повне усвідомлення сутності ГІС.

1. Різновиди ГІС за *просторовим охопленням* (рис. 1.3):

- *глобальні (планетарні)* (рис. 1.3, а);
- *субконтинентальні* (рис. 1.3, б);
- *міжнаціональні* (рис. 1.3, в);
- *національні (державні)* (рис. 1.3, г);
- *субнаціональні (державні)* (рис. 1.3, д);
- *регіональні (обласні)* (рис. 1.3, е);
- *субрегіональні (райони чи інші регіони всередині суб'єктів України)* (рис. 1.3, ж);
- *локальні (місцеві, муніципальні, міські, селищні)* (рис. 1.3, и);
- *ультралокальні (ГІС окремих промислових підприємств і будь-яких обмежених територій)* (рис. 1.3, к).

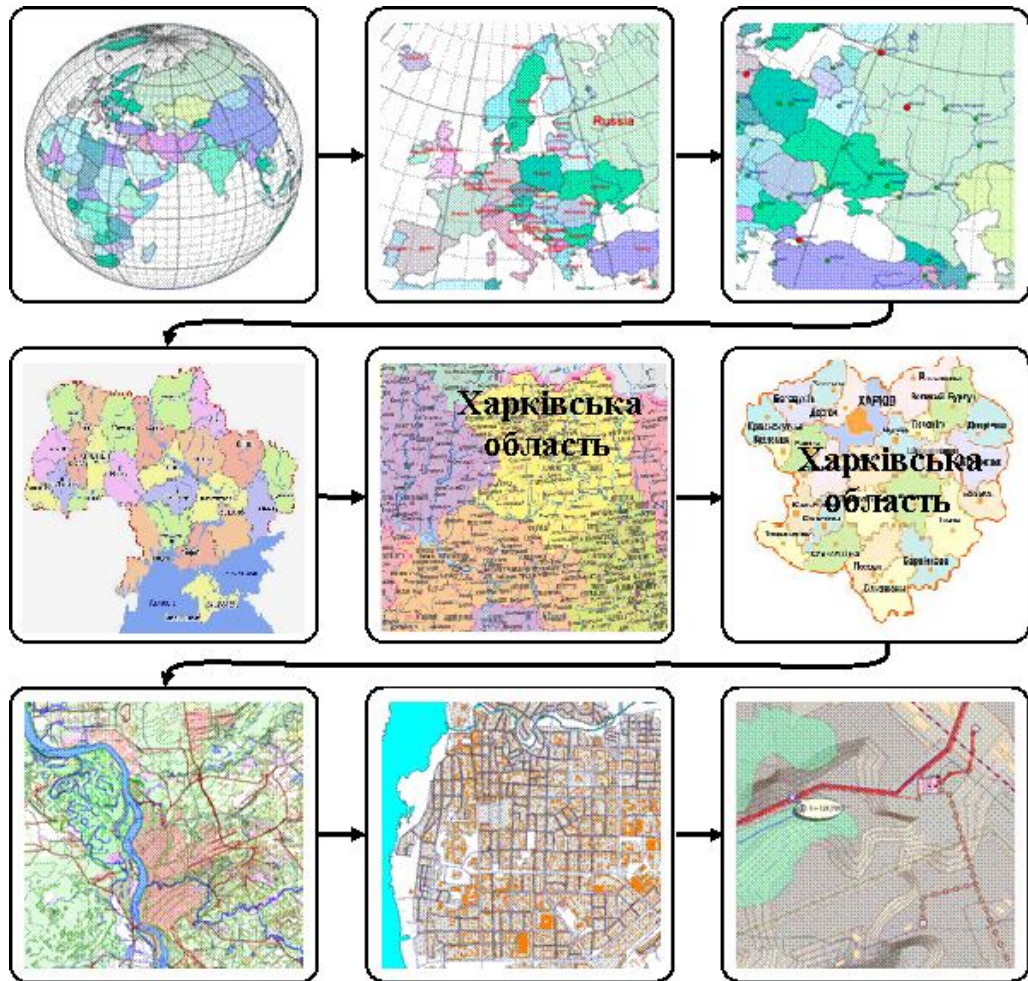


Рисунок 1.3 – Різновиди ГІС за просторовим охопленням (від глобальних до ультралокальних)

2. Різновиди ГІС за рівнем управління:

- федеральні ГІС;
- регіональні ГІС;
- муніципальні ГІС;
- корпоративні ГІС.

3. Різновиди ГІС за сферою діяльності, у якій вона застосовується (рис. 1.4):

- *управління* (федеральне, регіональне, муніципальне, корпоративне; планування розвитку);
- *землекористування* (земельні кадастри, інвентаризація земельних ділянок, межування земель);
- *управління нерухомістю* (кадастр нерухомості);
- *містобудування* (генеральні плани розвитку, чергові плани, планування розвитку);

- *архітектура* (проектування генеральних планів; ландшафтне проектування);
- *бізнес* (оцінка інвестицій і планування бізнесу);
- *інженерні мережі* (управління і експлуатація міських, селищних і корпоративних інженерних мереж: електричних, водопровідних, водовідведних, теплових, газових, телефонних, кабельних, телевізійних, спеціальних тощо);
- *інженерно-геодезійні дослідження* (введення і оброблення даних геодезійних пошуків; порівняння геодезійних мереж);
- *інженерно-геологічні вишукування* (введення і обробка даних за геологічними колонками);
- *геологія* (моделювання геологічних пластів; обробка даних буріння, сейсмозв'язки);
- *картографія* (складання географічних і топографічних карт);
- *проектування та будівництво* (проектування автомобільних і залізних доріг, генеральних планів, електричних і трубопровідних мереж);
- *екстрені служби* (диспетчеризація виїздів міліції, пожежників, швидкої допомоги);
- *ГИБДД* (керування інженерним облаштуванням автомобільних доріг світлофорами, знаками тощо; диспетчеризація виїздів);
- *навігація* (навігація на місцевості і вибір маршрутів руху);
- *транспорт* (управління і експлуатація автомобільних доріг і залізниць; керування річковими, морськими і повітряними перевезеннями);
- *логістика* (планування і управління транспортними перевезеннями);
- *оборона* (планування військових операцій, тилове забезпечення);
- *надзвичайні ситуації* (аналіз і прогноз надзвичайних ситуацій, планування і здійснення заходів щодо ліквідації наслідків);
- *екологія* (оцінка й прогнозування впливу на навколишнє середовище);
- *метеорологія* (прогноз погоди, управління мережею метеорологічних пунктів і станцій);
- *надрокористування* (управління родовищами корисних копалин);
- *природокористування* (управління природними ресурсами);
- *нафтогазова галузь* (управління нафтогазовидобуванням, промисловими майданчиками, магістральними трубопроводами);
- *демографія і статистика* (демографічний і статистичний аналіз);
- *освіта* (навчання, управління набором студентів);
- *побутове використання* (отримання довідки про об'єкти).

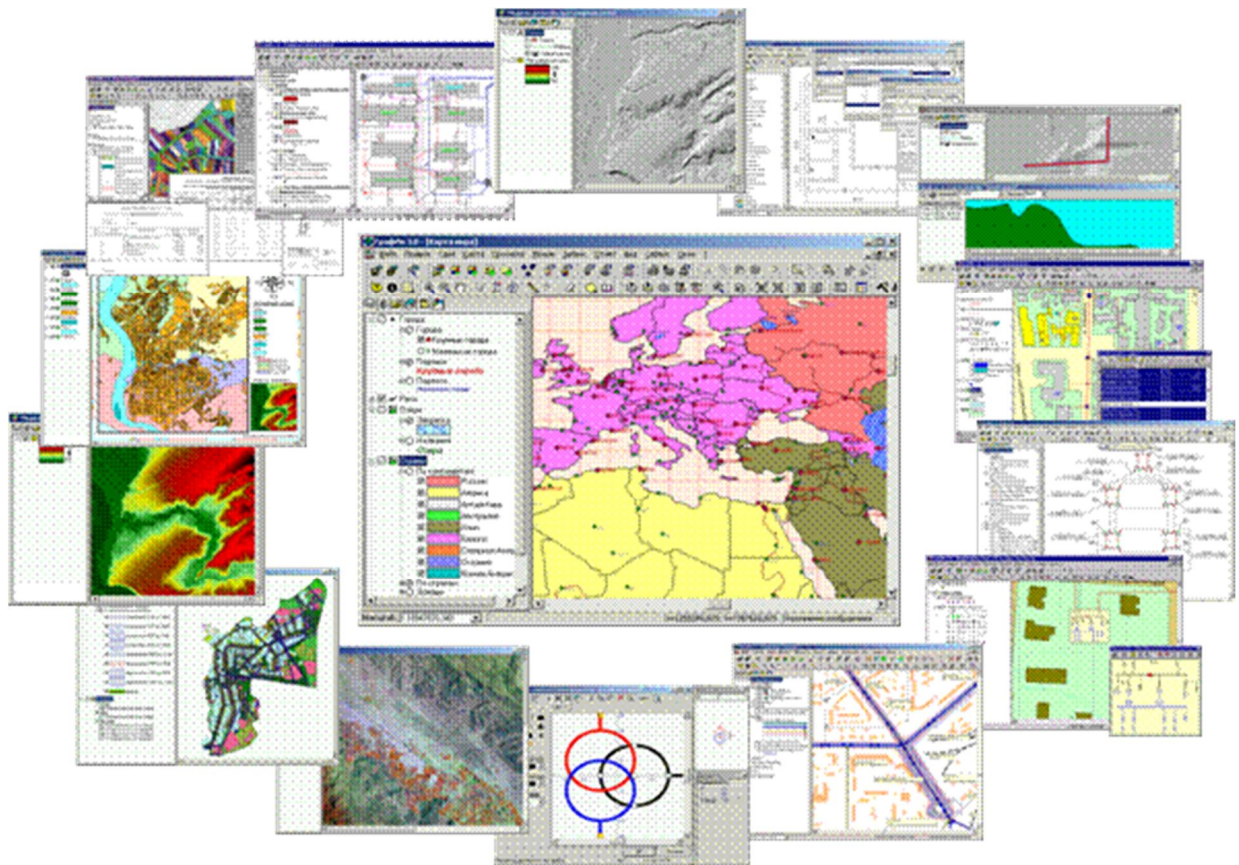


Рисунок 1.4 – Різновиди ГІС за сферами діяльності

4. Різновиди ГІС за функційністю:

– *повнофункційні* (інструментальні) ГІС. Такі програми максимально функційні, що властиво сучасним системам. Ці програми зазвичай забезпечують майже повний цикл роботи з просторовими даними – від введення і оброблення до аналізу й ухвалення рішення. Повнофункційні ГІС зазвичай забезпечують роботу усіх базових моделей даних геоінформатики – векторних, растрових, мережних і моделей поверхонь. Такі системи, з одного боку, різняться універсальністю і стабільністю, що полегшує їхнє використання. З іншого боку, ця універсальність перешкоджає їхньому використанню під час розв’язання певних прикладних задач, оскільки універсальні інструменти незручні для кінцевих користувачів, а надлишок зайвих у таких задачах функцій заважає початківцям. Саме тому під час застосування інструментальних ГІС необхідно використовувати засоби налаштування на предметну область – від налаштування меню та панелей інструментів, до написання додаткових функцій на вбудованій мові програмування (зазвичай Microsoft Visual Basic for Applications) або підімкнення зовнішніх модулів (зазвичай за технологією ActiveX);

– *ГІС для перегляду даних.* Функційність таких систем зазвичай обмежена переглядом і аналізом наявних наборів просторових даних. Багато ГІС-переглядачів забезпечують тільки перегляд даних і отримання короткої інформації про обрані на карті об'єкти. У наш час багато фірм-виробників пропонують свої ГІС-переглядачі безкоштовно, отримуючи гроші тільки від продажу функційніших ГІС;

– *ГІС для введення та оброблення даних.* До цієї категорії належать програми, призначені для підготування вихідних даних для ГІС шляхом векторизації і оброблення даних дистанційного зондування;

– *спеціалізовані ГІС.* До цієї категорії належать ГІС, призначені для застосування в певній галузі.

5. Різновиди ГІС за використовуваними моделями даних:

– *векторні ГІС.* Такі системи працюють із топологічними і нетопологічними моделями даних, а також з триангуляційними моделями поверхонь;

– *растрові ГІС.* Ці системи забезпечують роботу тільки з растровими моделями даних (іноді й з регулярними моделями поверхонь);

– *гібридні ГІС.* Такі системи поєднують можливості векторних і растрових ГІС.

6. Різновиди ГІС за комп'ютерною платформою, на якій функціонує ГІС (рис. 1.5):

– *персональні ГІС.* До цієї категорії належить більшість відомих ГІС. Використовувані в них дані зберігаються здебільшого у файлах, а комп'ютери, як сервери просторових даних, якщо й використовуються, то тільки як файл-сервери;

– *клієнт-серверні ГІС.* У цих системах просторові дані зберігаються повністю в базі даних, яка обслуговується особливою програмою – сервером просторових даних. Цей сервер зазвичай є високорівневою надбудовою до деякої промислової системи управління базами даних (СУБД типу Microsoft SQL Server, Oracle, DB2, Sybase тощо). Зауважимо, що багато сучасних клієнт-серверних ГІС можуть працювати не тільки з серверами, але й безпосередньо з даними в файлах, тобто ці ГІС також можна віднести до категорії настільних.

7. ГІС для Інтернету. Відомі два види таких систем:

– самостійні програми, що забезпечують повні функції HTTP-сервера;

– набори програмних компонентів, які можуть бути інтегровані в наявний HTTP-код і довільно налаштовані.

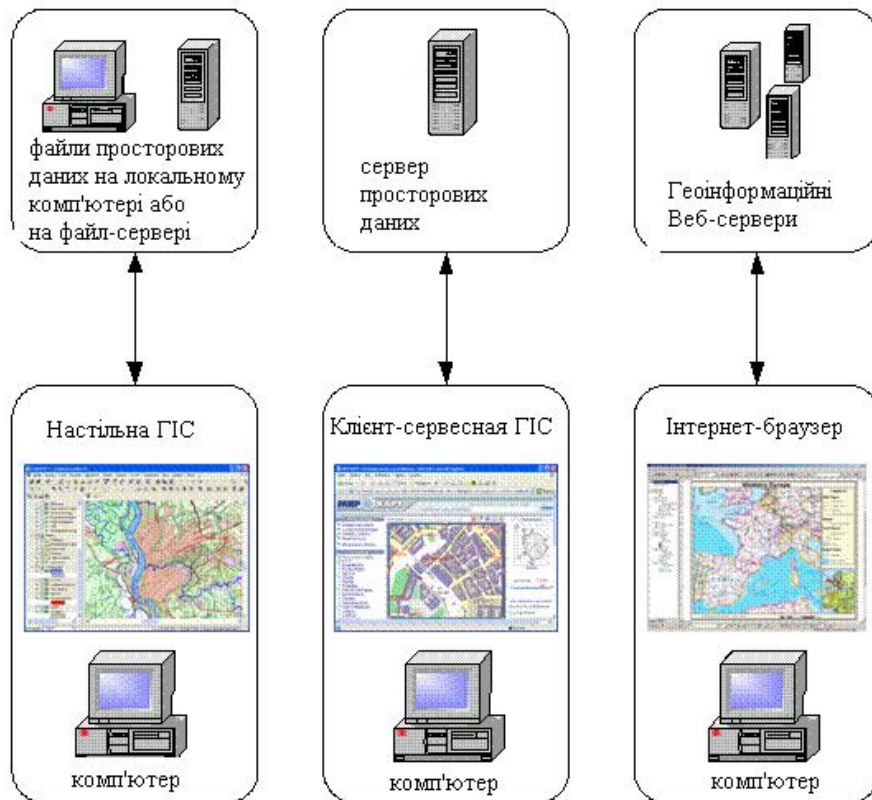


Рисунок 1.5 – Різновиди ГІС за комп'ютерною платформою

Потрібно зауважити, що термін «ГІС» означає назву різних інформаційних систем. Так називають як власне прикладні програми для різних галузей, так і самі інструментальні ГІС, на базі яких створюються певні галузеві ГІС.

1.5 Організація даних в ГІС

Геоінформаційні системи базуються на концепції пошарової організації просторових даних, коли однотипні дані про земну поверхню групуються в шари, так звані теми. Сукупність усіх шарів в ГІС утворює карту.

Об'єкти розподіляються на шари так, щоб об'єкти одного шару були однаковими за походженням (дороги, ріки, будівлі), інший шар формується з об'єктів однакової топологічної структури й розмірності, тобто їх можна було б описати точками, лініями або полігонами.

Однак утворювати дуже багато шарів небажано. Наприклад, немає сенсу створювати окремі шари для автомобілів різних марок, краще сформувавши один шар для автомобілів, до того ж із кожним об'єктом, що описує автомобіль, потрібно співставити код марки автомобіля.

У верхній частині рисунка 1.6 як приклад наведено міську забудову, на якій зображено житлові будинки, фабрики, заправки, склади, автомобілі, лісопаркову зону, річку, вулиці, міст, тунель. У геоінформаційній системі створюють п'ять базових шарів:

1. *Шар автомобілів.* Кожен автомобіль повинен виглядати як точка додатково описуються параметри кольору й марки.

2. *Шар автомобільних доріг.* Залежно від поставлених завдань автомобільні дороги можуть бути зображені у вигляді осьових ліній або багатокутників, які чітко описують проїжджу частину. У деяких випадках необхідно утворити два окремі шари для осьових ліній доріг і для проїжджих частин.

3. *Шар дерев.* Дерев в ГІС можна зобразити у вигляді точкових об'єктів, для кожного з яких задані тип дерева, висота й діаметр. Великі лісопаркові масиви можуть бути описані у вигляді багатокутників, що оточують суцільні зони насаджень. Для кожного такого масиву дерев необхідно вказати щільність посадки та середню висоту дерев.

4. *Шар будівель.* Будинки зображують у вигляді багатокутників, що описують контур будівлі на рівні землі. Для будівель потрібно вказати тип (житлова, промислова, комерційна), адресу, висоту, кількість поверхів тощо.

5. *Шар річок.* Річки на карті міста зазвичай зображуються у вигляді багатокутників. На інших, дрібніших картах (області або всієї країни), річки часто моделюють за допомогою ламаних.

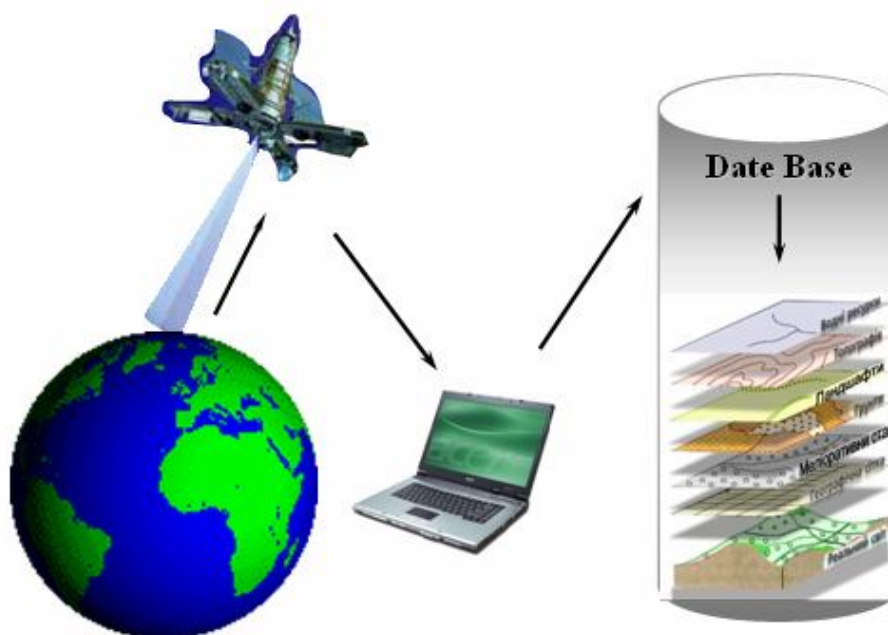


Рисунок 1.6 – Загальна схема розподілу просторових даних в ГІС на окремі шари – набори однотипних даних

Розподіл даних на шари дає змогу опрацьовувати в ГІС тільки ті дані, які необхідні для вирішення поставлених завдань. Щоб спростити розгляд можна «вилучити» ті шари, які не потрібні, і розглядати на карті те що залишиться.

2 МОДЕЛІ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

2.1 Класифікація моделей

Геоінформаційні системи базуються на моделях даних, що відображають реальні об'єкти на місцевості, взаємозв'язок між ними та інші додаткові знання, що мають просторову прив'язку. Кожна модель даних ГІС включає різні окремі просторові об'єкти, пов'язані додатковими топологічними особливостями.

Визначення. Просторовий об'єкт (цифрова модель об'єкта місцевості) – цифрове подання деякого об'єкта реальності, що включає координатну прив'язку (опис геометрії) і набір атрибутів (текстових і числових характеристик). Класифікаційні ознаки в ГІС подана на рисунку 2.1.

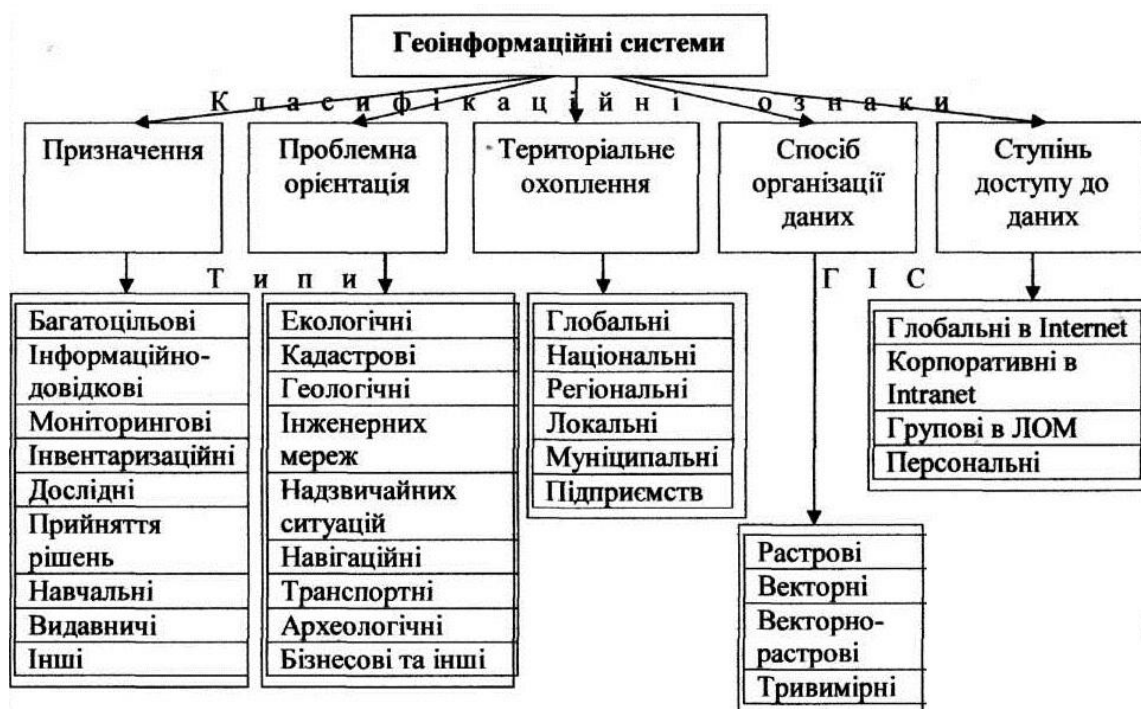


Рисунок 2.1 – Класифікаційні ознаки в ГІС

Векторні об'єкти (використовуються в нетопологічній і топологічній моделях даних) наведені нижче:

1. Точки – точкові об'єкти, які позначаються як координати на площині або в просторі.

2. Мультиточки – точкові об’єкти, що складаються з кількох точок. Цей тип об’єктів є узагальненням типу «Точки».

3. Лінії (полілінії) – лінійні об’єкти, що складаються з деякої послідовності (не менше двох) точок, з’єднаних відрізками (сегментами, дугами). Зауважимо, що не всі послідовні точки можуть з’єднуватися відрізками, а тому об’єкти цього типу можуть мати розриви, тобто бути топологічно непов’язаними. Топологічно пов’язані лінії зазвичай називають полілініями, а незв’язані – поліполілініями.

4. Полігони (області, регіони) – об’єкти, що складаються з контурів, заданих у вигляді послідовності замкнутих ліній і площини всередині контурів.

Зазначені типи векторних фігур називають простими на протиположному складним.

Складні фігури (фігури оформлення, об’єкти САПР із систем автоматизованого проектування) – різноманітні тривимірні фігури, використовувані в ГІС для оформлення. На практиці використовують прямокутники, еліпси, дуги еліпса, сплайни, упродовжені зображення (у вигляді растрів і метафайлів), OLE-об’єкти (об’єкти для вставлення на карту довільних графічних зображень за технологією OLE-операційної системи\Windows), різні текстові написи, покажчики, розмірні лінії, а також спеціальні об’єкти для оформлення карт в ГІС (масштабні лінійки, стрілки напрямку на північ, легенди карти, фрагменти інших карт).

Під час виконання операцій просторового аналізу (побудова методом оверлей, буферних зон, аналіз близькості) з використанням складних фігур спочатку виконується їхнє перетворення на прості.

Коміркові елементи (елементи растрових, регулярних і нерегулярних моделей):

1. Пікселі – двохвимірні об’єкти, які є елементами регулярної прямокутної решітки в растровій моделі даних.

2. Осередки – двохвимірні об’єкти, які є елементами регулярного розбиття в моделі регулярної мережі.

3. Трикутники – двохвимірні об’єкти, які є елементами розбиття поверхні на трикутники в нерегулярній моделі триангуляції.

Визначення. *Модель даних* – спосіб опису однотипних просторових об’єктів, що передбачає опис окремих об’єктів, топологічних зв’язків між ними, а також додаткових знань про всю сукупність об’єктів у моделі.

Усі моделі просторових даних розподіляються на дві великі групи.

Векторні моделі призначені для опису сукупностей окремих об’єктів, наприклад меж річок, озер, контурів будівель, осей доріг і інженерних

комунікацій. У векторних моделях кожен об'єкт задається деяким набором координат на площині або в просторі, а також сукупністю атрибутів.

У векторних нетопологічних моделях усі об'єкти не залежать один від одного і можуть довільно розміщуватися в просторі.

Векторні топологічні моделі складаються з опису окремих об'єктів, а також із описів топології – взаємовпливу окремих об'єктів один на одний.

Найпоширенішими топологічними моделями є *лінійно-вузлова модель (покриття) і транспортна мережа*.

Комірчасті моделі описують безперервні поля даних, такі як фотознімки місцевості, поля забруднень навколишнього середовища, висотних відміток (рельєф). У поруватих моделях деяка ділянка території нерозривно розбивається на однакові (прямокутники в растровій або трикутники в регулярній моделі) або різні фрагменти (трикутники в нерегулярній триангуляційній моделі), кожен із яких описується своїм набором атрибутів.

У геоінформаційних системах усі дані організуються в логічні групи (тематичні), так звані шари, які, зі свого боку, групуються в карти.

Визначення. Шар карти (тема) – сукупність однотипних просторових об'єктів, визначених в одній моделі даних на загальній території і в загальній системі координат.

Визначення. Карта в ГІС – сукупність різних шарів, визначених на загальній території і в загальній системі координат.

На завершення цього розділу буде розглянуто ще декілька найважливіших понять.

Визначення. Цифрова модель місцевості (далі – ЦММ) – математична модель місцевості, що складається з безлічі наборів просторових даних, що описують різні види об'єктів і знань про землю.

ЦММ відповідає об'єктному складу топографічних карт і планів та включає опис форми рельєфу землі, природних і антропогенних об'єктів і споруд.

Визначення. Цифрова карта – математична модель графічного зображення паперових карт, використовуваних у картографії. У певному сенсі цифрова карта є спрощеним варіантом ЦММ, що включає тільки ті дані за об'єктами місцевості, які безпосередньо відображаються на карті.

Визначення. Цифрова модель рельєфу (далі – ЦМР) – частина цифрової моделі місцевості, що описує форму земної поверхні. ЦМР в геоінформаційних системах моделюється за допомогою поруватих моделей даних, так званих (які називають) DEM (регулярна мережа висот) і TIN (нерегулярна триангуляційна мережа).

У геоінформаційних системах ЦММ цифрові карти і ЦМР є частиною відповідних карт та подаються як сукупність шарів.

2.2 Нетопологічна модель даних

У векторних нетопологічних моделях всі об'єкти довільно й незалежно розміщуються в просторі.

Термін «нетопологічна» на протипагу «топологічна» підкреслює що різні фігури в межах набору даних ніяк між собою не пов'язані і не впливають одна на одну.

Із сукупності векторних нетопологічних моделей виокремлюють два основні підвиди – шейп-модель і САПР-модель.

2.2.1 Шейп-модель

У шейп-моделі використовують чотири різновиди даних – *точки, лінії, полігони мультиточки*. До того ж в межах одного шару карти, подано у вигляді шейп-моделі, допускаються об'єкти тільки одного різновиду. Відповідні шари карти До того ж називаються точковими, лінійними, полігональними (майданними) і багатоточковими.

Дані в шейп-моделі можуть бути визначені на площині, тоді вони характеризуються двома координатами (x, y), а також у тривимірному і чотиривимірному просторі. Координата *m* зазвичай використовується як так звані «заходи» для ліній, тобто коли значення «заходів» задає відстань від деякого умовного початку (пикетажна відстань). Для інших типів шейп-даних (точок, полігонів і мультиточок) міра зазвичай не використовується:

1. Точки в шейп-моделі є 0-мірними об'єктами, що описуються набором відповідних координат на площині або в просторі. Точки використовуються для подання на карті таких об'єктів, як міста на карті світу, колодязі, пожежні гідранти на плані міста, висотні відмітки рельєфу.

2. Мультиточки в шейп-моделі також є 0-мірними об'єктами і складаються з ненульового набору нез'єднаних точок. Цей тип об'єктів є узагальненням типу «точки». Зазначимо, що на практиці мультиточки використовуються зрідка.

3. Лінії в шейп-моделі є одновимірними (лінійними) об'єктами і визначаються як послідовності з'єднаних відрізками точок. До того ж виокремлюють три різновиди ліній – спагеті, струни і кільця.

спагеті можуть самоперетинатися, тоді як струни й кільця – ні. Кільця мають співпадні початкову й кінцеву точки. Усі лінійні об'єкти мають деяке значення довжини, але завжди нульову площу.

спагеті повинні складатися принаймні з одного відрізка, що з'єднує дві незбіжні точки. Спагеті зазвичай використовуються під час перенесення даних із деякого джерела лінійних даних, де їхня топологічна коректність не гарантується. На рисунку 2.2 подано зразок допустимого об'єкта типу спагеті.

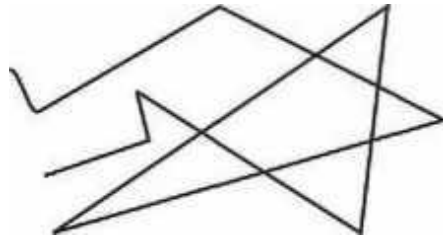


Рисунок 2.2 – Зразок даних типу спагеті

Струни також повинні складатися принаймні з одного відрізка, що з'єднує дві незбіжні точки. Під час введення й редагування струн перевіряють чи немає самоперетинів відрізків струни, а також послідовних колінеарних відрізків. На рисунку 2.3 подано зразок допустимої і неприпустимої струн.

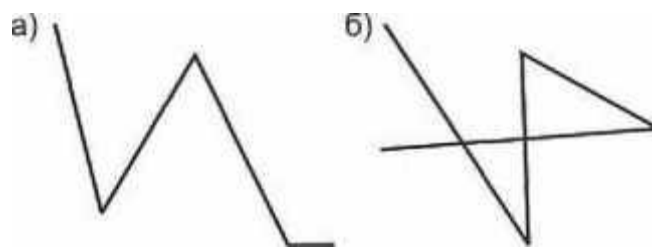


Рисунок 2.3 – Зразки даних типу струна: а) допустима; б) неприпустима

Кільця повинні мати співпадні початкову й кінцеву точки. Під час введення й редагування кілець проводиться перевірка щодо відсутності самоперетинів відрізків кільця, а також послідовних колінеарних відрізків. На рисунку 2.4 подано зразки допустимого й неприпустимого кільця.

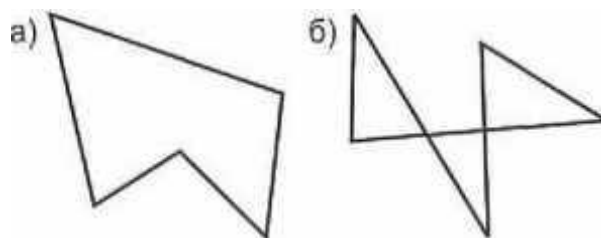


Рисунок 2.4 – Зразки даних типу кільце: а) допустиме; б) неприпустиме

4. Полігони в шейп-моделі є двохвимірними (майданними) об'єктами і визначаються декількома контурами, заданими у вигляді послідовності

замкнених непересічних ліній. Один з цих контурів повинен бути зовнішнім, а решта – внутрішніми. Внутрішні контури До того ж повинні задаватися в порядку руху контуру за годинниковою стрілкою, а зовнішні – проти. На рисунку 2.5 подано зразок полігону.

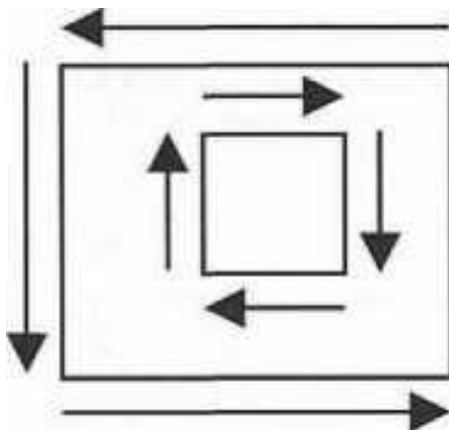


Рисунок 2.5 – Зразок даних типу полігон

Для кожної фігури в шейп-моделі даних може зберігатися певна кількість додаткових числових або текстових параметрів (атрибутів), що описують різні характеристики модельованих об'єктів.

2.2.2 САПР-модель

САПР-модель (модель даних, типова для систем автоматизованого проектування) зазвичай використовується в геоінформаційних системах для графічного оформлення карт і створення складних креслень. До того ж у межах одного шару карти, подано як САПР-модель, допускається використання об'єктів різних типів: прості (точки, мультиточки, лінії, полігони) і складні (прямокутники, дуги, еліпси, сплайни, растри, метафайли, OLE-об'єкти, написи, покажчики, розмірні лінії і елементи оформлення карт).

САПР-модель використовується для створення на картографічній основі складних графічних зображень, наприклад схем інженерних мереж.

2.3 Топологічна модель даних «Покриття»

Векторна топологічна модель даних, яку називають покриттям, містить три типи об'єктів – вузли, дуги й регіони. Кожен з цих об'єктів має унікальний ідентифікатор, за допомогою якого між об'єктами встановлюються взаємозв'язки.

Назва «покриття» виника через те, що взаємне накладання дуг і регіонів в моделі покриття не допускається, а вся сукупність регіонів у моделі, як і універсальний регіон, «покриває» всю площину без дірок (рис. 2.6).

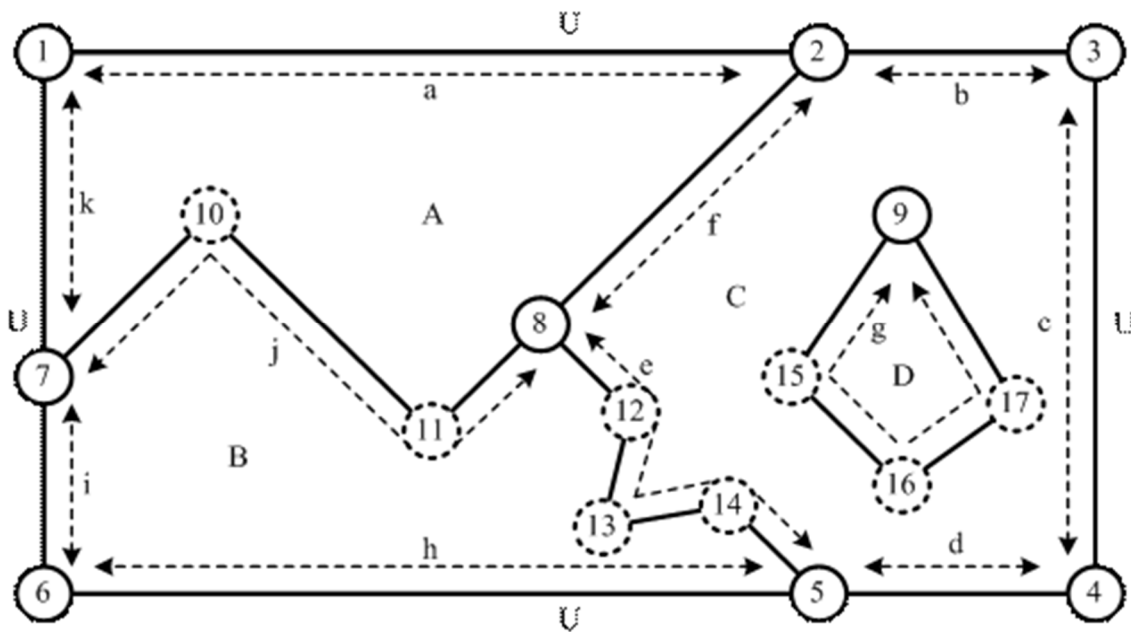


Рисунок 2.6 – Зразок даних моделі «Покриття»: 1–9 – вузли; 10–17 – проміжні точки; а– к – дуги; А– І – регіони; U – універсальний регіон

Вузли є звичайними точковими об’єктами, що визначаються координатами на площині (x, y).

Дуги є лінійними об’єктами – ламаними, що з’єднують два вузли покриття і проходять через послідовні проміжні точки. Крім того, дуги визначаються посиланнями на два суміжні (зліва і справа) регіони. Дуги одного покриття не повинні перетинатися.

Регіони (області, полігони) є майданними об’єктами. Вони характеризуються набором контурів, кожен із яких, зі свого боку, описується послідовністю дуг покриття. Перетинатися регіони одного покриття не повинні.

Розрізняють декілька різновидів регіонів:

- *простий* регіон – регіон, який містить лише один контур;
- *складовий* регіон – регіон, який містить декілька контурів. До того ж складові регіони можуть складатися з топологічно не зв’язаних частин і мати дірки;
- *універсальний регіон* – частина площини, яка не належить ні до якого регіону покриття. Це поняття є абстракцією і не подається в моделі покриття.

2.4 Модель транспортної мережі

Модель транспортної (геометричної) мережі призначена, насамперед, для опису у вигляді пов'язаного графа схеми транспортних комунікацій (автомобільних і залізничних доріг, авіаліній і водних маршрутів) з метою їхнього подальшого мереженого аналізу.

Транспортна мережа містить два головні типи об'єктів (вузли й дуги), а також один додатковий – маршрути (рис. 2.7):

1. Вузли є звичайними точковими об'єктами, що визначаються координатами на площині (x, y). Вузли можуть додатково характеризуватися такими параметрами, як заборони на виконання деяких поворотів і час їхнього виконання.

2. Дуги є лінійними об'єктами – ламаними, що з'єднують два вузли транспортної мережі і проходять через послідовність проміжних точок. Кожна дуга характеризується довжиною або часом руху по ній, дозволеними напрямками руху, класом дороги або пропускнуою здатністю тощо.

3. Додатково на транспортній мережі можуть бути визначені об'єкти ще одного типу – маршрути руху транспорту. Кожен маршрут визначається як замкнута впорядкована послідовність вузлів і дуг, а також різними числовими характеристиками (наприклад розрахунковий час проходження транспорту через зупинки).

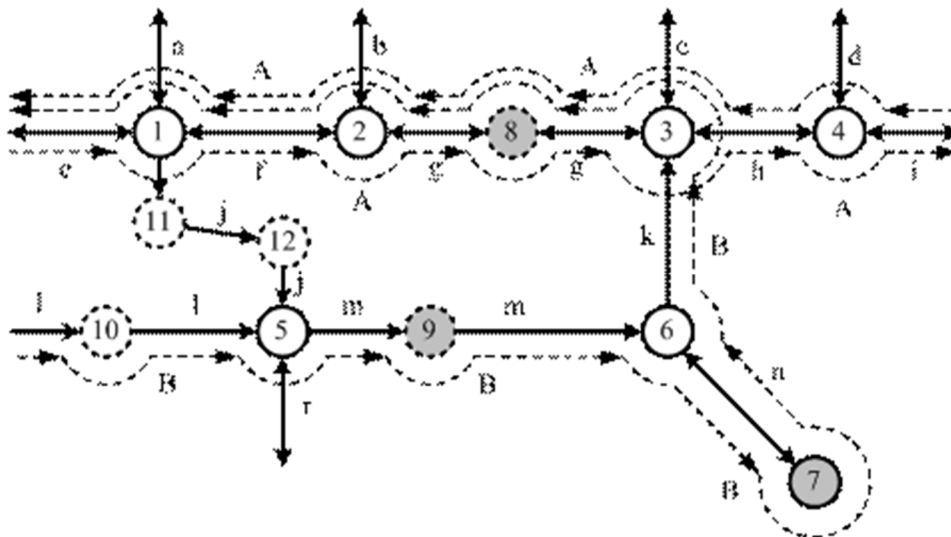


Рисунок 2.7 – Зразок даних моделі «Транспортна мережа»: 1–7 – вузли; 8–12 – проміжні точки; 7–9 – зупинки; а–п – дуги; А–В – маршрути громадського транспорту

Потрібно зауважити, що модель транспортної мережі схожа на модель покриття без регіонів. Однак, на відміну від покриття, у транспортній мережі

допускається взаємне накладання дуг. Це необхідно, наприклад, для того щоб показати, як перетинаються автомобільні дороги на різних рівнях.

2.5 Растрова модель даних

Растрова модель даних є найпершою щодо виникнення моделлю даних геоінформатики. У цій моделі вся площина розбивається системою рівновіддалених вертикальних і горизонтальних прямих на однакові осередки – пікселі, кожному з яких відповідає певний код. У кожному пікселі може зберігатися якась числова характеристика простору (наприклад висота рельєфу, колір на фотознімку, рівень забруднення навколишнього середовища) або код об'єкта, якому належить відповідний піксель.

На рисунку 2.8 подано зразок карти земельних ділянок у векторній і растровій моделі. У векторній моделі для кожного полігону А, В, С і D задані координати меж полігонів, тобто у векторній моделі вказується, де перебуває об'єкт. У растровій моделі весь простір розділено на пікселі, у кожному з яких міститься код відповідної земельної ділянки, тобто растрова модель містить інформацію про те, що розташовано в заданій точці території.

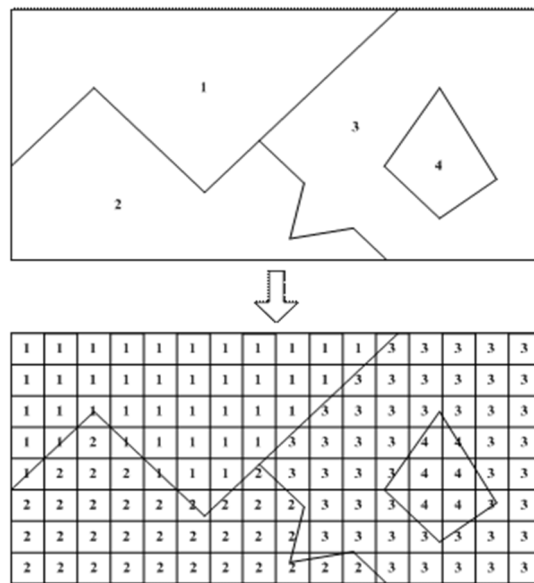


Рисунок 2.8 – Зразок зображення земельних ділянок в векторній і растровій моделі даних

Із рисунка 2.8 зрозуміло, що точність задання меж земельних ділянок у растровій моделі невисока, оскільки відповідає розміру пікселя, тому для збільшення точності даних доводиться істотно збільшувати кількість пікселів. Однак збільшувати їх до нескінченності також не можна, тому що ресурси комп'ютерів обмежені. Наприклад, якби ми захотіли на карті міста розміром 10×10 км зобразити карту земельних ділянок з точністю до 1 см (пікселі

розміром 1×1 см), то нам знадобилося б 1012 пікселів. Якщо кожен піксель ми будемо кодувати чотирма байтами, то нам знадобиться приблизно 4 Тб пам'яті, що значно перевершує можливості типового сучасного персонального комп'ютера. Саме тому, обираючи розмір і кількість пікселів, доводиться йти на компроміс.

Для економії витрати пам'яті використовують різні алгоритмічні методи компресії растрів, які залежно від типу даних уможливають їхнє стискання в десятки, сотні й навіть в тисячі разів. Отже, за наведеним вище прикладом зрозуміло, що для зберігання зазначеної карти земельних ділянок може бути достатньо й 1 Гб (або й менше).

Однією з переваг растрової моделі даних є простота алгоритмів оброблення, включаючи операції просторового аналізу. Наприклад, визначити всі будівлі, що перебувають у межах водоохоронної зони дуже легко, якщо накласти растрові шари будівель і водоохоронних зон і попіксельно визначити шукані будівлі.

У наш час растрова модель у ГІС не є базовою, а використовується тільки в тих випадках, коли векторна модель не дає задовільного результату. Саме тому необхідним є операції перетворення даних із растру у вектор (векторизація), і навпаки (растеризація). Растеризація – це звичайна для ГІС і досить проста операція, проте векторизація є набагато складнішим процесом. Векторизація зазвичай виконується в ручному або напівавтоматичному режимі за допомогою спеціальних програм – «Векторизатор».

Визначення. Якщо ГІС підтримує тільки векторні моделі даних і нерегулярні мережі, то вона називається векторною ГІС. Якщо базовою для ГІС є растрова модель даних, то вона називається растровою ГІС. Растрово-векторною називається така растрова ГІС, у якій підтримуються векторні моделі і є засоби векторизації й растеризації.

2.6 Триангуляційна модель поверхонь

Триангуляційна модель даних (нерегулярна триангуляційна мережа, TIN) призначена для опису поверхонь. Як модельована поверхня може використовуватися рельєф земної поверхні (рис. 2.10) або розподіл будь-якого параметра по земній поверхні, наприклад, забруднення навколишнього середовища, кількості опадів, що випадають або середньорічна температура.

Зауважимо, що для моделювання поверхонь можна використовувати й растрову модель, якщо в кожному пікселі растру задається висота модельованої поверхні. Однак триангуляційна модель має низку переваг порівняно з растровою. По-перше, точність моделювання вища і зазвичай витрачається

менше пам'яті. По-друге, триангуляційна модель допомагає уявити різке змінювання поверхні, тобто точки й лінії, продовж яких різко змінюється кривизна поверхні (вершини гір, кордони ярів, обриви річок, межі штучних споруд). Растрова модель передбачає, що вся модельована поверхня є гладкою.

Вихідними даними для побудови триангуляційної моделі поверхні слугують висотні позначки, ізолінії, а також різні структурні лінії, що змінюють форму поверхні.

Триангуляційна модель даних базується на триангуляції – особливому структурованні даних обчислювальної геометрії. Загалом триангуляція становить собою планарний граф, побудований на безлічі заданих вузлів, який розбиває всю площину на трикутники й одну зовнішню нескінченну фігуру.

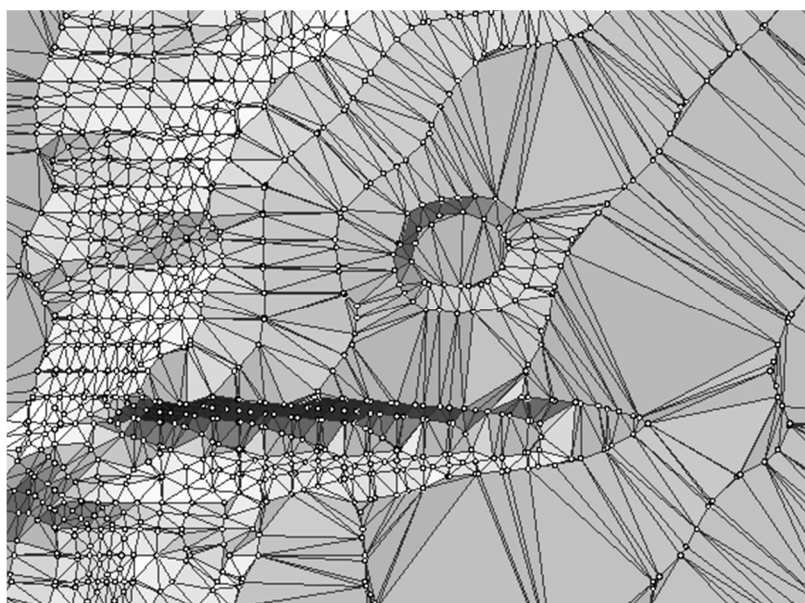


Рисунок 2.9 – Триангуляційна модель поверхні Землі

Триангуляції можуть бути різними. Триангуляційна модель даних базується на так званій триангуляції Делоне з обмеженнями, у якій трикутники будуються так, щоб вони були максимально рівносторонніми, зокрема так, щоб всередині кола, описаного навколо будь-якого трикутника, не потрапляли вузли триангуляції (рис. 2.10).

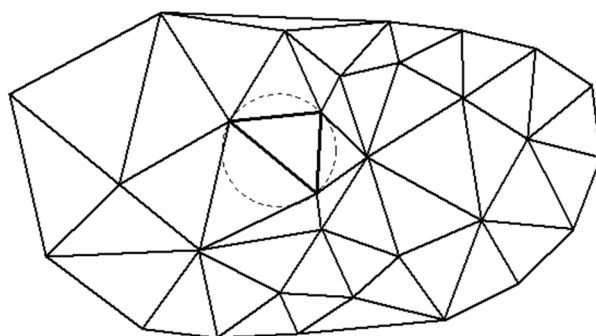


Рисунок 2.10 – Зразок триангуляції Делоне з демонстрацією умови Делоне

Оскільки ж триангуляція застосовується на площині, то для моделювання поверхонь (зокрема рельєфу) у кожному вузлі триангуляції додатково додається ще одна координата – висотна відмітка. До того ж кожен трикутник триангуляції стає просторовим, визначаючи деяку плоску частину модельованої поверхні.

Такі триангуляційні моделі поверхонь зазвичай належать до класу так званих 2,5-мірних моделей (ще вони іноді називаються однозначними поверхнями двох змінних), засвідчуючи, що, незважаючи на наявність координат, це не тривимірна модель, тому що вона не може бути описана такою моделлю. Наприклад, у цій моделі не можна описати внутрішню структуру печери й схили гори, які є вертикальними або мають невеликий ухил. До того ж на практиці за необхідності у моделюванні вертикальні грані (наприклад стіни будівель) межі роблять «майже» вертикальними, вводячи в триангуляцію додаткові вузли.

Триангуляційна модель даних містить три головні типи даних – вузли, ребра і трикутники (рис. 2.11).

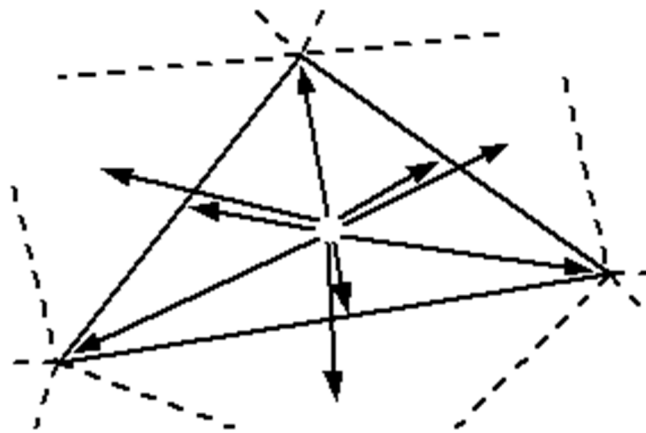


Рисунок 2.11 – Поєднання об'єктів у триангуляційній моделі даних

Вузли в триангуляції характеризуються координатами (x, y, z) . Ребра в триангуляції є відрізками, що з'єднують у два деякі вузли. Більшість ребер у триангуляції наочно не зображуються, оскільки їх завжди можна визначити із трикутників. Зображуються тільки особливі ребра, за якими встановлюється додаткова інформація, наприклад структурність ліній або те, що поверхня не є гладкою уздовж цієї лінії.

Трикутники в триангуляції описуються за допомогою посилянь, утворюючи вузли, а також посилянь на суміжні трикутники й особливі ребра. Посилення на суміжні трикутники й ребра потрібні не для зображення їх на карті, а тільки для прискорення операцій аналізу поверхні.

2.7 Геореляційна модель даних

Однією з найважливіших властивостей геоінформаційних систем є те, що майже для будь-якого просторового об'єкта можна задати набір додаткових атрибутів у вигляді числових або символічних значень.

Протягом останніх десятиліть із безлічі різних моделей баз даних найпоширенішою в геоінформатиці є так звана реляційна модель. З погляду користувача вся база даних в цій моделі складається з набору різних таблиць, що мають фіксовані набори стовпців (полів) і змінну кількість рядків (записів), що описують деякі об'єкти. Зв'язок між таблицями забезпечується за допомогою ключових полів – спеціально виокремлених стовпців таблиць.

У полях реляційних таблиць можуть зберігатися дані тільки деяких певних типів: цілі й речові числа, рядки, логічні значення, дата, час, а також великі бінарні масиви (binary large objects – BLOB-поля).

Для роботи з базами даних розроблена спеціальна мова SQL (мова структурованих запитів), що уможливорює виконання модифікації бази даних, а також пошук необхідних даних.

На рисунку 2.12 подано просту базу даних у двох таблицях, що містить відомості про земельні ділянки і їхніх власників. Кожна з таблиць містить ключове поле (ключ) «ID», яке визначає об'єкти «земельна ділянка» і «власник» всередині відповідної таблиці. Зв'язок між таблицями підтримується за допомогою таких ключових полів. Приміром, для цього в таблиці «Земельна ділянка» спеціально виокремлено поле «Код власника», у якому здійснюється запам'ятовування значення ключа таблиці «Власник».

ID	Код власника	Площа
1	34	267,98
2	48	132,72
3	97	2056,02
4	97	350,78
...

ID	Опис	Часник
34	ЗАТ "Мрія"	Ні
48	ЗАТ "Дельфін"	Ні
97	Іванов М.О.	Так
...

Рисунок 2.12 – Таблиці реляційної бази даних

Надалі в разі необхідності отримати ім'я власника для заданої земельної ділянки система управління базами даних (далі – СКБД) визначить код власника в таблиці «Земельна ділянка», потім знайде в таблиці «Власник» запис із цим кодом і «витягне» із відповідного поля шуканий опис власника.

Одним із недоліків таблиці «Земельна ділянка» є те, що в ній не зберігаються відомості про геометрію самої ділянки. Для цього, відповідно до використовуваних реляційних підходів, потрібно створити низку допоміжних таблиць і зберігати в них необхідну інформацію про полігони, складники земельної ділянки. Однак швидкість роботи навіть найкращих СУБД не дає змогу оперативно використати геометричні дані, подані в такому вигляді. «Оперативно» означає, що потрібно наприклад, за частку секунди відобразити на екрані комп'ютера десятки й сотні тисяч земельних ділянок.

Саме тому в більшості геоінформаційних систем застосовується дещо інший – геореляційний підхід, коли геометрія просторового об'єкта (наприклад земельної ділянки) зберігається в окремому місці, в спеціально розробленому форматі, а атрибути об'єкта – у деякій таблиці бази даних. До того ж зв'язок між геометрією і атрибутами підтримується за допомогою ключа – унікального коду просторового об'єкта, приблизно так само, як і в реляційних таблицях (рис. 2.13).

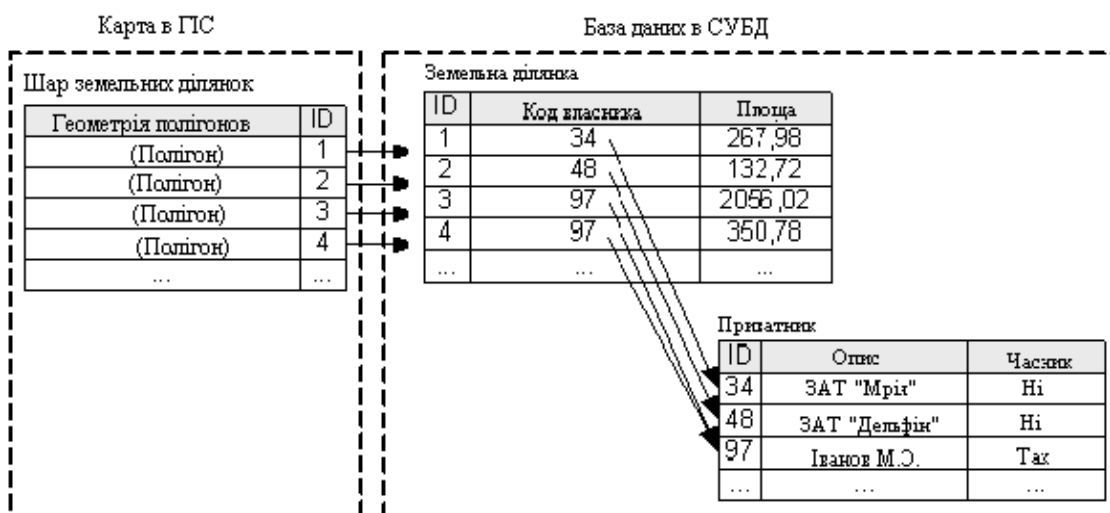


Рисунок 2.13 – Геореляційна база даних: зліва – впорядкований список просторових об'єктів в шарі карти; справа – пов'язані з ними записи в базі даних

У геоінформаційних системах із метою створення зручності для користувачів є операція поєднання атрибутів просторових даних із таблицями зовнішніх баз даних. Як наслідок, користувач уявляє, що він має справу зі звичайними таблицями баз даних, у яких додатково утворено перший стовпець із геометрією об'єктів. На підтвердження зазначеного щодо земельних ділянок одержаний результат представлений на рисунку 2.14.

Далі, після проведення операції поєднання, можна виконувати операції щодо різноманітних інформаційних запитів у поєднаній таблиці. Наприклад, для земельних ділянок можна використати всі ділянки, що належать фізичним особам, і вони будуть виокремлені на карті в ГІС.

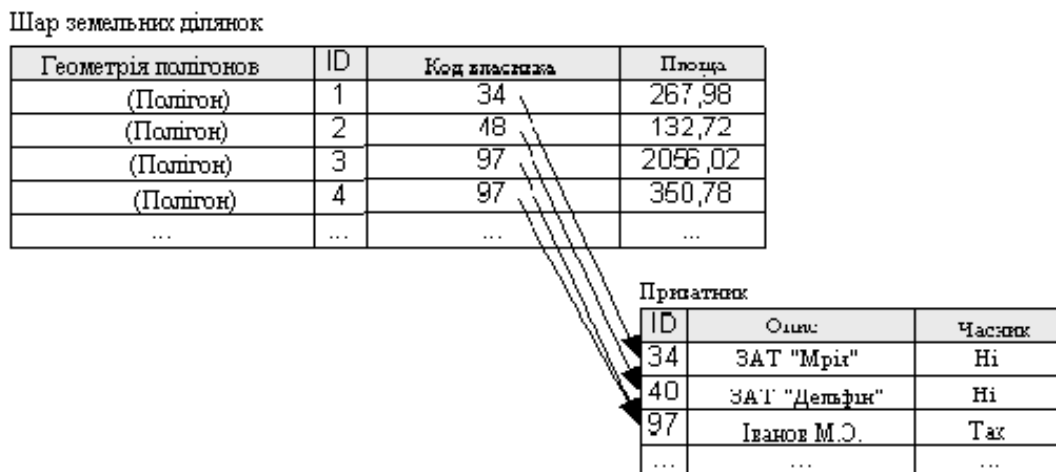


Рисунок 2.14 – Поєднання таблиць геореяційної бази даних

Іншою важливою особливістю ГІС після закінчення поєднання є автоматичне додавання й видалення записів у приєднаній таблиці. Приміром, під час створення на шарі карти нового полігону в приєднаній таблиці (у нашому прикладі в таблиці «Земельна ділянка») буде автоматично створено запис із необхідним значенням коду зв'язку ID. У разі видалення полігону з карти пов'язаний запис буде видалено.

Геореяційний підхід в ГІС використовується не тільки для зберігання атрибутів для векторних об'єктів (у шейп-файлах, покриттях, транспортних мережах і САПР-моделях). Аналогічно зберігаються дані в растровій моделі даних.

2.8 Геобаза даних

З моменту виникнення й дотепер майже у всіх ГІС геометрія і атрибутика просторових об'єктів зберігаються в різних файлах, а не в базах даних. Це обумовлюється двома головними причинами.

По-перше, низькою швидкістю вилучення й зміни геометричної інформації із баз даних, керованих звичайними системам СУБД порівняно зі звичайними файлами. Частково це пов'язано з низькою пропускнуою здатністю каналів зв'язку між сервером і СУБД, що унеможливають передавання з сервера на комп'ютер користувача інформації про просторові об'єкти, які повинні виводитися на екран практично в реальному режимі часу. Крім того,

низька швидкість обумовлюється тим, що геометрія лінійних і майданних об'єктів повинна зберігатися у допоміжних таблицях або в BLOB-полях, що також істотно знижує швидкість доступу до даних.

По-друге, зберігання геометрії об'єктів у базі даних не надає тих переваг, які виникають при зберіганні звичайних негеометричних даних. Наприклад, в звичайних БД є кілька ключових понять, які використовуються майже у всіх прикладних базах даних. Це так зване «обмеження цілісності», що не дає змоги вводити некоректні значення в поля таблиць і створювати некоректні посилання між таблицями бази даних. Це блокування, що забороняє редагувати окремі поля або цілі таблиці бази даних, і це транзакції, що уможливають виконання великих змін у БД, але які в разі помилки під час транзакції повертають всю БД до початкового стану транзакції.

Потрібно зауважити, що таке обмеження цілісності, блокування й транзакції мало придатне для застосування щодо просторових об'єктів. Приміром, обмеження цілісності в ГІС є здебільшого геометричними (наприклад заборонено перетин ліній доріг і річок, оскільки річки повинні перетинатися тільки дорогами по мосту) і їх дуже складно описати за допомогою стандартних засобів СУБД (у вигляді збережених процедур на мові SQL). Блокування в ГІС повинне також бути просторовим, наприклад, для забезпечення можливості паралельної роботи багатьох користувачів із однією картою потрібно заблокувати деякий регіон цієї карти, що призведе до необхідності блокувати цілі таблиці в СУБД.

Класичні транзакції в теорії баз даних називають також ще короткими транзакціями, щоб підкреслити, що процес введення даних в СУБД зазвичай триває недовго. До того ж до поки виконується транзакція одним користувачем, робота іншого користувача має бути заблокована, щоб не порушити цілісність бази даних.

У ГІС же потрібно виконувати довгі транзакції, протягом яких користувач може змінювати стан безлічі взаємопов'язаних шарів карти. До того ж в процесі редагування геометричні обмеження цілісності можуть порушуватися. Після закінчення введення даних (для завершення довгої транзакції) користувач знову повинен привести базу даних (карту) в допустимий стан. Довга транзакція може виконуватися скільки завгодно довго(дні й навіть тижні). Зрозуміло, що під час введення даних одним користувачем не можна надовго блокувати всю базу даних щодо змін які можуть вносити інші користувачі.

З іншого боку, одночасне зберігання в базі даних геометрії і атрибутики привело б до забезпечення певних переваг, але тільки за умови, що вдалося вирішити зазначені проблеми.

Як наслідок, було розроблено різні розширення й надбудови щодо звичайних СУБД, що уможливило створення повноцінних просторових баз даних, що задовольняють усі сучасні вимоги ГІС. Консорціум розробників мови SQL увів в останній стандарт мови SQL три розділи, які регламентують основи роботи з просторовими базами даних.

Головною перевагою сучасних просторових баз даних є те, що в них можливо поєднати геометрію, атрибутику й поведінку об'єктів. Що відповідає базовим принципам об'єктно-орієнтованого підходу, який на сьогодні є головним під час створення будь-яких програмних систем.

Нині поширення набули дві надбудови промислових СУБД, що реалізують вимоги стандарту SQL-3 і тісно поєднуються з провідними світовими ГІС. Це ArcSDE (Spatial Database Engine) компанії ESRI, Inc (США) та SpatialWare компанії MapInfo, Inc (США).

Модель геобаз даних ArcSDE 8.x/9.x є логічним продовженням топологічної моделі даних (покриття), даючи змогу за необхідності створювати аналоги нетопологічної моделі шейп-файлів. Крім того, модель геобаз уможливорює створення мережі, визначення просторових зв'язків між і введення нових об'єктно-орієнтованих сутностей.

Однією з найбільших переваг ArcSDE є використання технології версій, призначених для виконання «довгих транзакцій», які дають змогу відмовитися від традиційних блокувань у регіонах.

3 СТРУКТУРА І ДЖЕРЕЛА ГЕОДАНИХ

3.1 Системи координат

Головною метою введення деякої системи координат у геоінформатиці є опис стану об'єктів на поверхні Землі в деякому «природному» вигляді.

Якщо потрібно визначити розташування судна в океані і прокласти маршрут руху по карті, то спочатку необхідно визначити *широту й довготу* розташування судна в градусах за допомогою спеціальних приладів, використовуючи *географічні координати*. Застосовувати такі координати зручно з погляду їхнього розуміння і обчислення за допомогою різних астрономічних методів, проте це вкрай незручно під час виконання будь-яких геометричних вимірювань і побудов. Наприклад, дуже складно визначити найкоротшу відстань між двома пунктами на поверхні Землі, розміщення яких задано в градусах.

Це пов'язано з тим, що поверхня Землі не є площиною, а тому формули для обчислення відстаней та інших геометричних вимірів на її реальній поверхні є дуже складними.

Оскільки фізична поверхню Землі має дуже складну форму, вона залежно від розв'язуваних задач апроксимується деякою фігурою, досить просто описуваною математично, наприклад, сферою або еліпсоїдом. Це дає змогу скласти формули для визначення такої самої відстані на поверхні сфери.

Однак якщо ми будуємо новий квартал в місті, то можна припустити, що поверхня Землі в межах території, яка забудовується, є плоскою, а тому всі складності сферичної геометрії можна відкинути й використовувати загальновідомі формули геометрії щодо площини. Саме тому проект внутрішньоквартальної забудови потрібно виконати на топографічному плані, використовуючи прямокутні *декартові координати* в просторі.

До того ж найважливішим питанням є вибір цієї декартової системи координат. Можна припустити, що вісь Z цієї системи координат має бути спрямована вгору, а інші осі – паралельно до поверхні Землі на початку координат. Це потрібно для того, щоб можна було в польових умовах виміряти висоти на місцевості за допомогою нівеліра, а також визначити вертикалі за допомогою звичайного виска.

Окрім того, якщо ми будуємо великий протяжний об'єкт, наприклад дорогу, що простягнулася на сотні або тисячі кілометрів, то поверхня Землі на таких відстанях буде істотно відрізнятися від площини. Відхилення поверхні Землі від дотичної площини, у якій визначена декартова система координат, на відстані 1 км від точки дотику становить 7,8 см, а на 10 км – уже 7,84 м,

тому проект будівництва дороги потрібно розбити на ділянки, що виконуються в різних декартових системах координат. Найбільшою проблемою при такому способі є стикування ділянок проекту, виконаних у різних локальних системах координат. Таким чином, необхідно сформулювати загальний підхід, що дає змогу легко будувати локальні системи координат, поєднувати їх, а за необхідності застосовувати географічні координати.

Для цього необхідно побудувати деяку модель поверхні Землі, а також визначити формули переходу від цієї моделі до локальних координатах і навпаки. Можна припустити, що у всіх локальних (місцевих) декартових системах:

- 1) початки координат будуть розміщуватися на моделі поверхні Землі;
- 2) вісь видання буде спрямовуватися по нормалі до моделі поверхні.

У разі дотримання таких припущень, наприклад, вертикалі в локальній системі координат можна буде вимірювати на місцевості за допомогою звичайного виска.

Визначимо поняття.

Визначення. *Рівневою* називається поверхня, ортогональна в кожній своїй точці до векторів сили тяжіння.

Визначення. *Геоїдом* називається рівень поверхні, що проходить через деяку точку початку відліку висот.

Однак геоїд має вкрай складну форму, й майже неможливо описати математично, тому залежно від вирішуваних завдань форма геоїда може апроксимуватися сферою, еліпсоїдом обертання, тривісним еліпсоїдом або, найточніше, *квазігеоїдом*.

Визначення. *Загальноземним* називається еліпсоїд обертання, площина екватора й центр якого співпадають із площиною екватора й центром мас Землі та який найкраще апроксимує поверхню геоїда.

Визначення. *Референц-еліпсоїдом (референц-сферою)* називається такий еліпсоїд (сфера), який найкраще апроксимує поверхню геоїда на відповідній території Землі.

Визначення. *Квазігеоїдом* називається така фігура, яка на різних ділянках поверхні Землі апроксимується різними місцевими референц-еліпсоїдами. На території морів і океанів поверхня квазігеоїда співпадає з поверхнею геоїда, а на суші вона відхиляється від нього в межах 2 м.

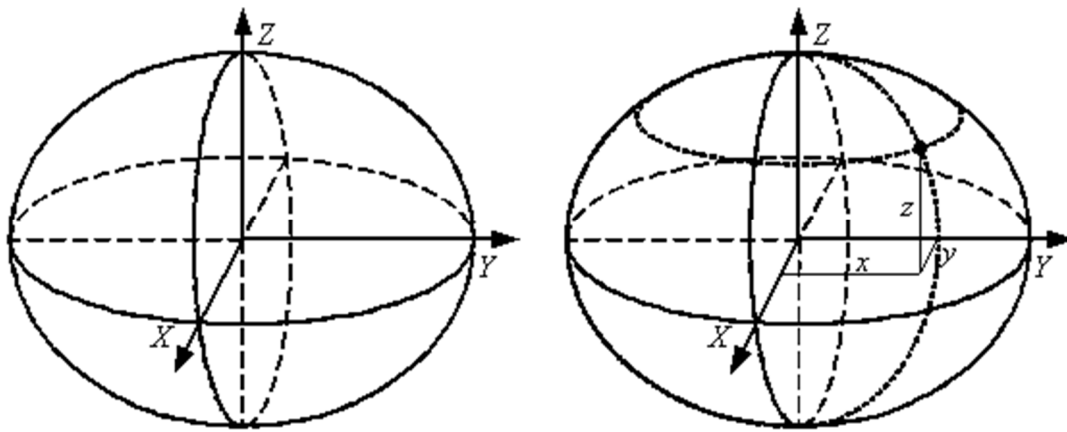


Рисунок 3.1 – Еліпсоїд обертання

В математичній картографії використовуються просторові прямокутні, криволінійні, плоскі прямокутні й полярні системи координат.

Найпростішою є просторова прямокутна *геоцентрична система координат*, початок якої поєднується з центром Землі: вісь Z спрямована на Північний полюс, вісь X – на точку перетину Гринвіцького меридіана з екватором, а вісь Y – на схід від Гринвіча (рис. 3.2). Як точку для назначення Північного полюса зазвичай використовують *умовний земний полюс (міжнародний умовний початок)*, який разом з центром мас Землі визначає деяке фіксоване середнє положення осі обертання Землі. Це пов'язано з тим, що вісь обертання Землі в тілі Землі та щодо зірок із часом переміщується.

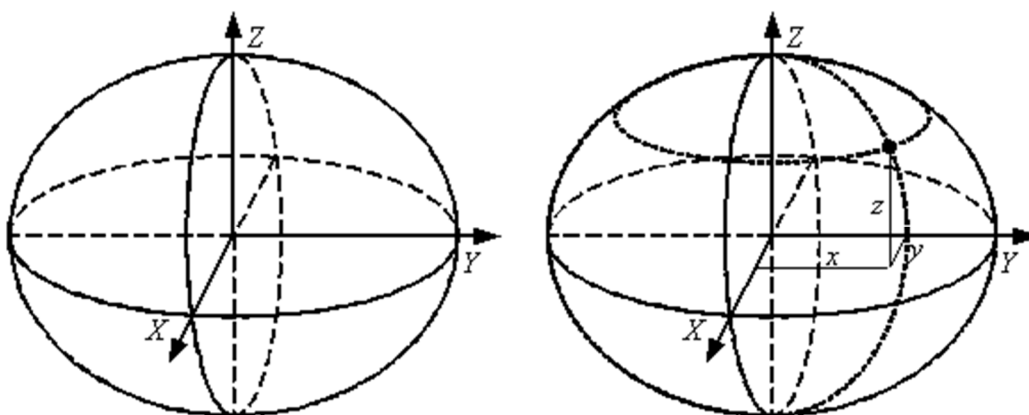


Рисунок 3.2 – Геоцентрична система координат

Потрібно зауважити, що на практиці зазвичай використовуються різні *квазігеоцентричні системи координат*, де центр координат та кут нахилу осей дещо інші.

Більш звичною є *географічна (геодезійна)* система координат, коли координати точки на поверхні еліпсоїда визначаються *широтою* φ і *довготою* λ , вимірюваними в градусах від екватора і від Гринвіцького меридіана відповідно. Координати будь-якої точки в просторі складаються з широти й довготи її проекції по нормалі на еліпсоїд і висоти H точки щодо еліпсоїда.

У зв'язку з тим, що широта й довжина точки на місцевості зазвичай визначається за допомогою астрономічних спостережень, географічні координати іноді також називаються *астрономічними*.

Використовувати, наведену вище, геоцентричну й географічну системи координат не завжди зручно. Приміром під час проведення роботи на невеликих ділянках земної поверхні здебільшого використовують *топоцентричну (горизонтну)* систему координат, яка є звичайною прямокутною просторовою системою координат і характеризується деякою початковою точкою Q_0 ($\varphi_0, \lambda_0, H_0$), що задається в географічній системі координат (H_0 – висота точки Q_0 над рівнем референс-еліпсоїда).

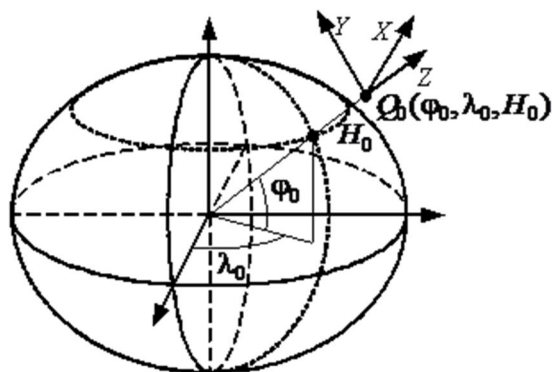


Рисунок 3.3 – Топоцентрична (горизонтна) система координат

Крім зазначених, широко використовують також *полярну сфероїдну (сферичну) систему координат* (рис. 3.4).

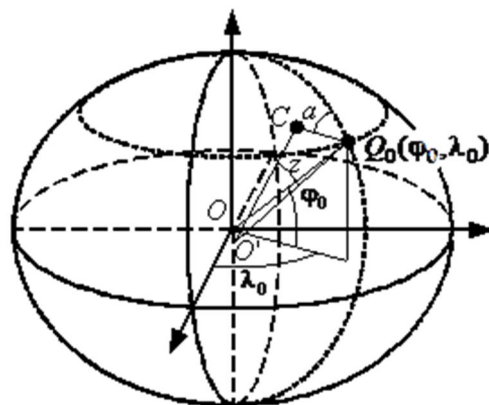


Рисунок 3.4 – Полярна сфероїдна (сферична) система координат

Зазначимо, що в математичній картографії іноді використовується «майже звичайна» полярна система координат – так звана *полярна геодезійна система координат*.

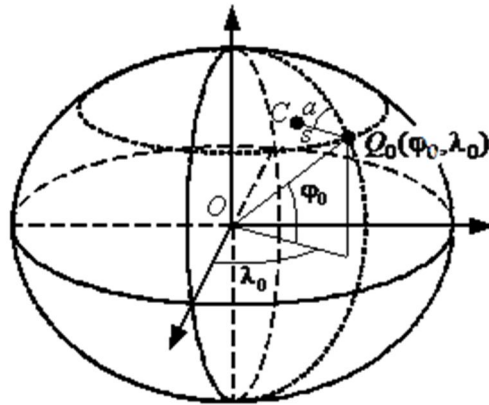


Рисунок 3.5 – Полярна геодезійна система координат

Усі наведені вище системи координат призначені для задання «абсолютних координат», тобто координат, що не залежать від розташування об'єктів у просторі.

На противагу *абсолютним* часто використовують різні *відносні* координати, у яких відлік ведеться від деяких помітних на місцевості об'єктів.

Виокремлюють два головні різновиди відносних систем координат:

1. *Відносна полюсна система координат*. У цих координатах відлік ведеться від полюсів – деяких відомих точок на місцевості, заданих або в абсолютній системі координат, або в описовому вигляді. Розташування будь-якої іншої точки на місцевості може здаватися як азимут і відстань від деякого полюса, або як відстані від двох полюсів.

Ця система координат дає змогу задати розташування об'єктів на плані, а також у просторі, додаючи в опис координат зміщення по висоті шуканої точки від планової (2 м під землею) або від базової точки (3 м нижче позначки на стіні будинку).

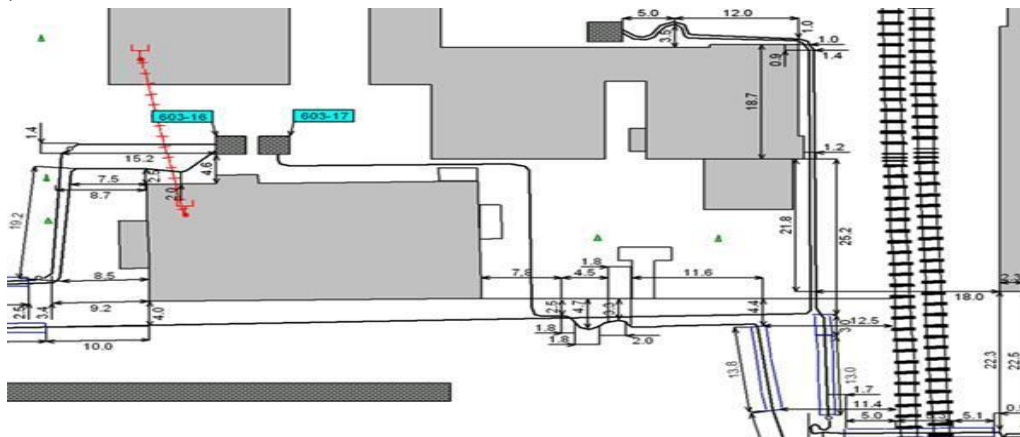


Рисунок 3.6 – Задання розташування інженерних комунікацій за допомогою відносної полярної системи координат

2. *Відносна лінеаризована (пикетажна) система координат.* У цій системі за основу береться деяка базова крива, розташування якої задано в абсолютній системі координат. Розміщення будь-якої іншої точки С на базовій кривій вважається найкоротшою відстанню від цієї точки до базової точки вздовж базової кривої. Таку відстань зазвичай називають *пикетажною відстанню* або *пикетажем*.

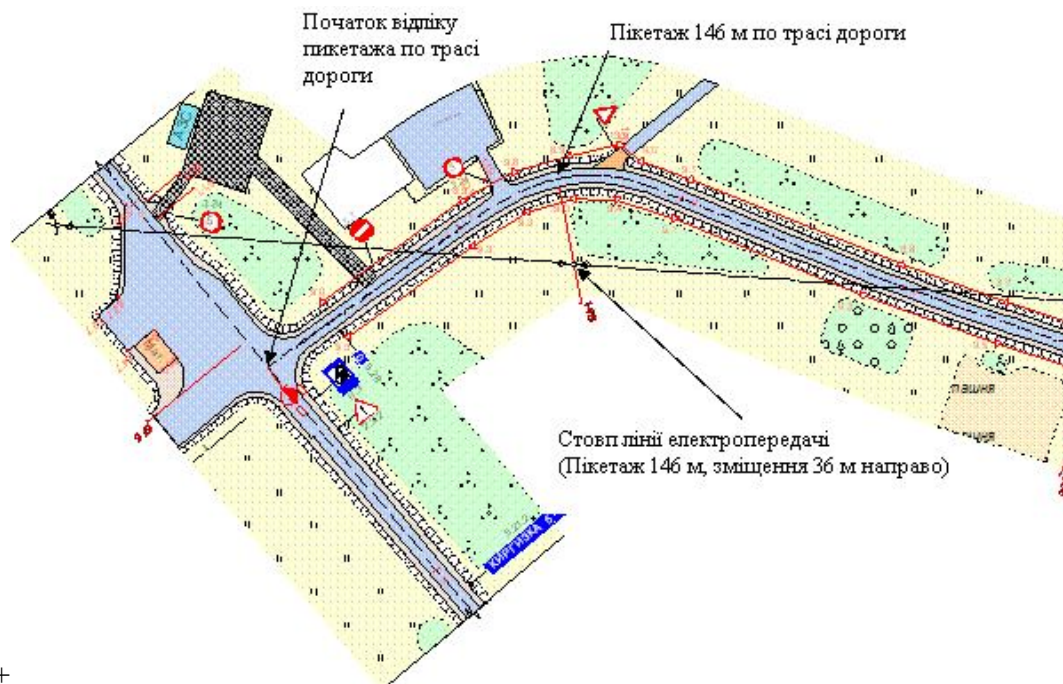


Рисунок 3.7 – Задання розташування об'єктів інженерного облаштування автомобільної дороги за допомогою лінеаризованої системи координат

Базовою кривою може бути траса автомобільної дороги чи повітряної лінії електропередачі.

3.2 Картографічні проекції

Форма Землі не є плоскою під час побудови паперових або електронних карт використовуються так звані картографічні проекції – математичні методи відображення поверхні Землі на площину.

Одними з найважливіших характеристик проекцій є особливості й величина спотворень. До того ж виокремлюють такі різновиди проекцій:

1. *Рівнокутні.* Такі проекції використовуються, наприклад, для навігації, прокладання транспортних маршрутів.

2. *Рівновеликі*. Ці проєкції зберігають площі всіх об'єктів, але спотворюють кути й форми об'єктів. У таких проєкціях дуже зручно, наприклад, визначати площі земельних ділянок.

3. *Рівнопроміжні*. У цих проєкціях зберігаються довжини уздовж одного з головних напрямків (зазвичай уздовж паралелей або одного чи всіх меридіанів).

4. *Довільні*. У таких проєкціях не зберігаються довжини, площі та кути, проте перетворення проєкції обирається так, щоб спотворення кутів, площ і довжин на карті були загалом мінімальними. Зазвичай в центрі карти позначають мінімальні спотворення, які плавно збільшуються до країв.

Утворюються різні сімейства проєкцій:

1. *Циліндричні* проєкції (рис. 3.8-3.10).
2. *Псевдоциліндричні* проєкції (рис. 3.11-3.18).
3. *Попережно-циліндричні* проєкції (рис. 3.19, 3.20).
4. *Конічні* проєкції (рис. 3.21, 3.22).
5. *Псевдоконічні* проєкції (рис. 3.23, 3.24).
6. *Поліконічні* проєкції (рис. 3.27-3.29).
7. *Азимутальні* проєкції (рис. 3.30-3.33).
8. *Псевдоазимутальні* проєкції¹ (рис. 3.34, 3.35).
9. *Перспективні* проєкції² (рис. 3.36-3.40).

10. *Проєкції для карт глобусів*. Глобуси зазвичай виготовляються шляхом обклеювання кульових заготовок або шляхом видавлювання плівки в на півсфери (рис. 3.42).

11. *Змінно-масштабні проєкції*. Такі проєкції можуть бути використані для картографування нерівномірно розподілених у просторі об'єктів і явищ, коли існує необхідність стиснути або розтягнути окремі ділянки земної поверхні (рис. 3.42).

12. *Проєкції анаморфованих зображень*.

На рисунку 3.43 наведено приклад анаморфованого зображення країн світу за кількістю населення.

¹ Такі проєкції застосовуються у випадках, коли потрібно передати на карті ефект сферичності Землі.

² На рисунках 3.36, 3.37 наведено приклади перспективно-циліндричних проєкцій, а на рисунках 3.38–3.40 – перспективно-азимутальних

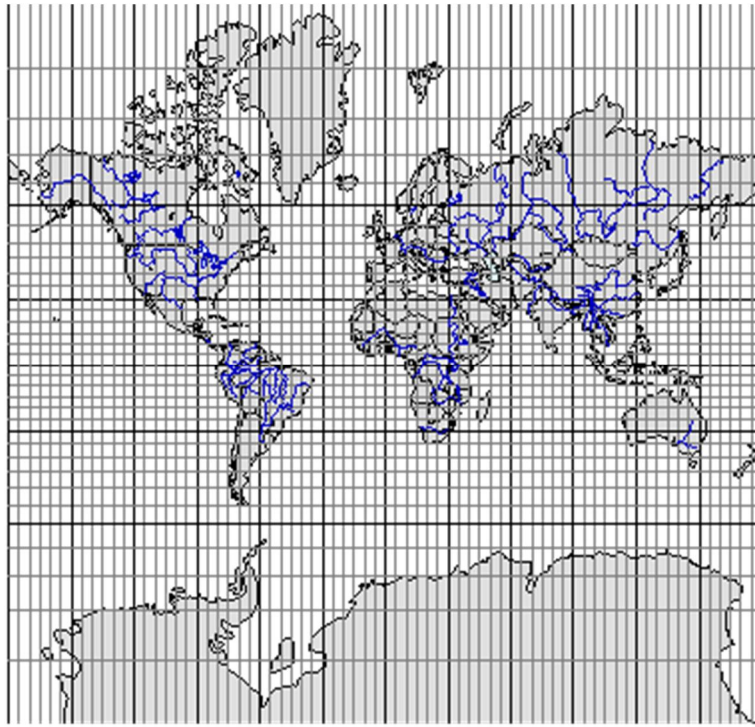


Рисунок 3.8 – Рівнокутна циліндрична проекція

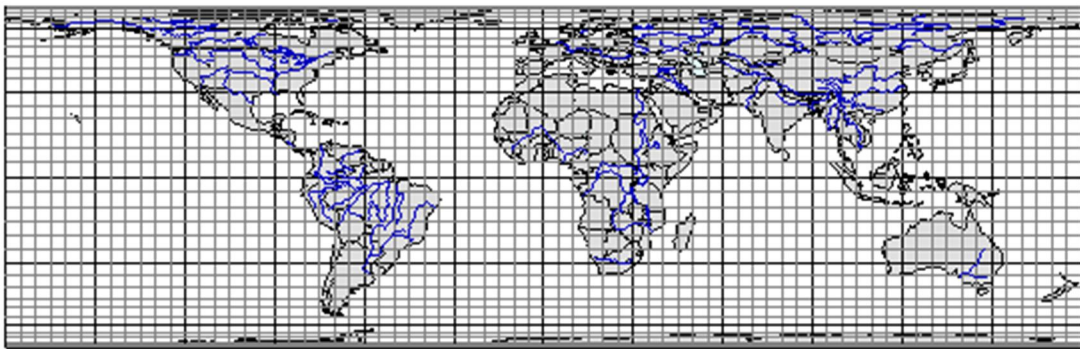


Рисунок 3.9 – Рівновелика циліндрична проекція

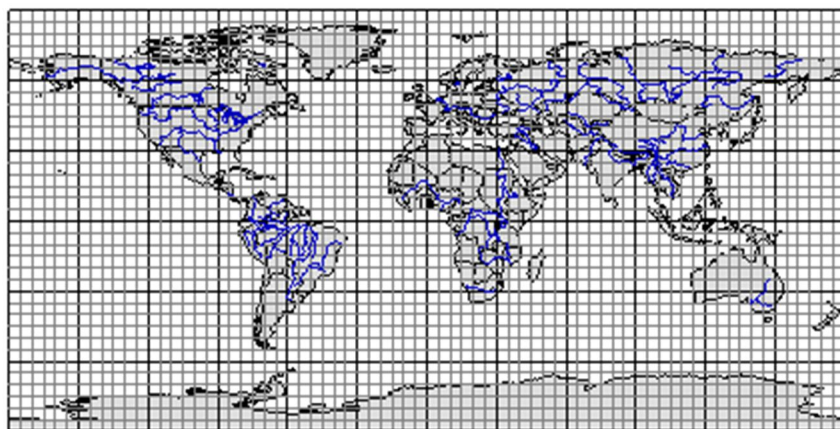


Рисунок 3.10 – Рівнопроміжна за меридіанами циліндрична проекція

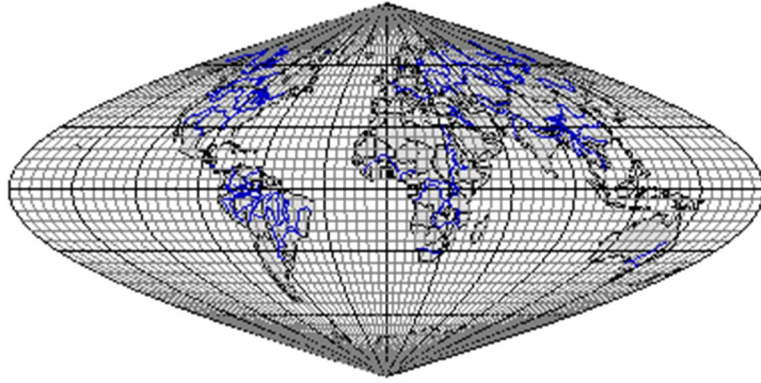


Рисунок 3.11 – Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція з полюсами у вигляді точок

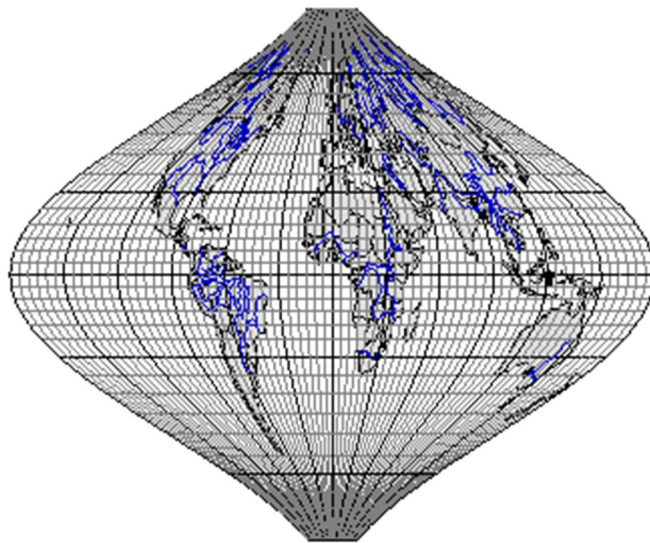


Рисунок 3.12 – Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція з полярної лінією

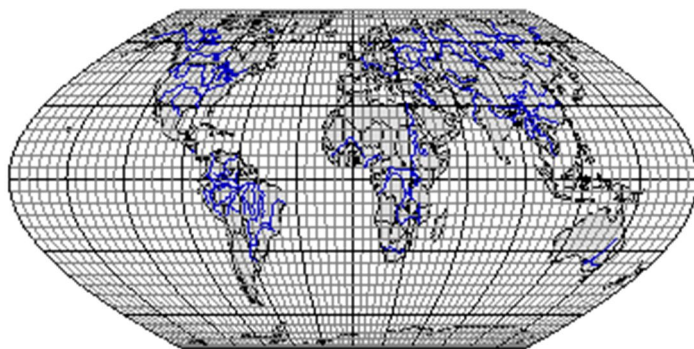


Рисунок 3.13 – Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція Каврайського



Рисунок 3.14 – Рівновелика еліптична псевдоциліндрична проекція

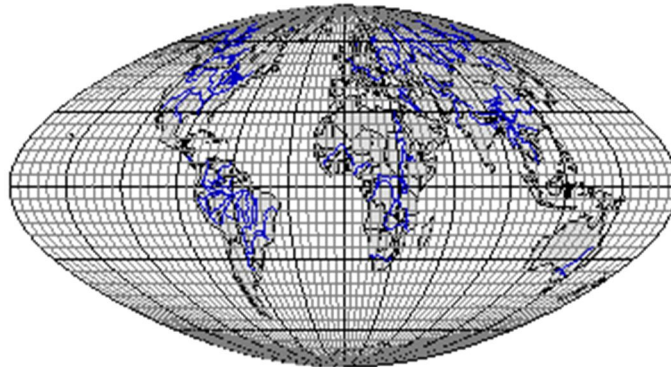


Рисунок 3.15 – Довільна синусоїдальна псевдоциліндрична проекція

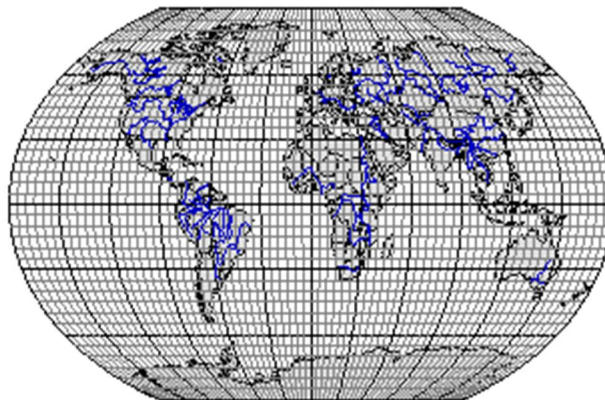


Рисунок 3.16 – Довільна еліптична псевдоциліндрична проекція Каврайського

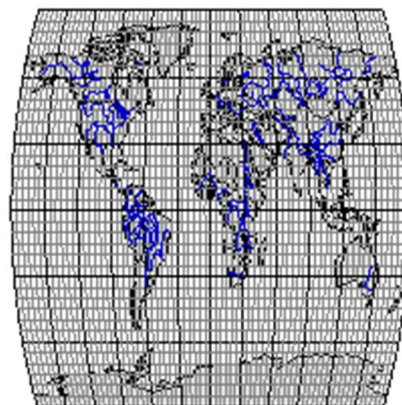


Рисунок 3.17 – Довільна еліптична псевдоциліндрична проекція Михайлова

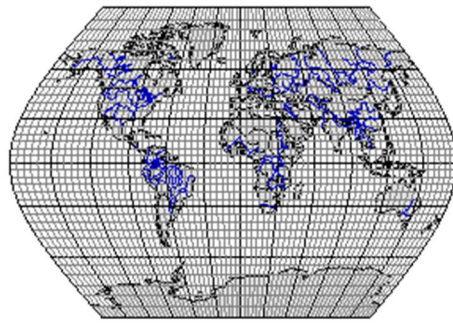


Рисунок 3.18 – Довільна псевдоциліндрична проекція ЦНИИГАіК (Гінзбурга)

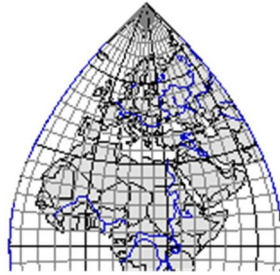


Рисунок 3.19 – Поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера.³

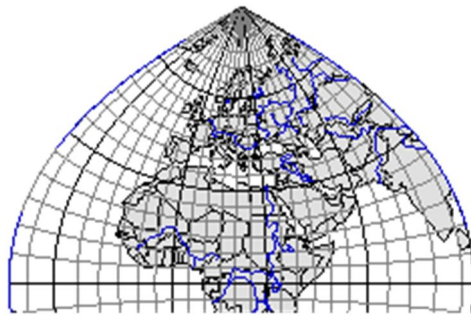


Рисунок 3.20 – Поперечно-циліндрична проекція Гаусса-Крюгера для широкої смуги

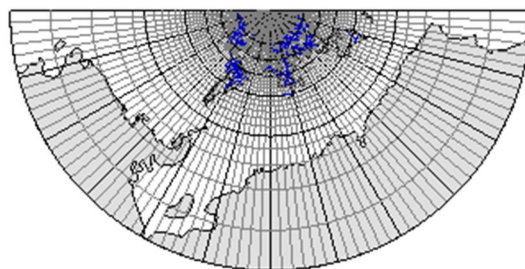


Рисунок 3.21 – Рівнокутна конічна проекція з однаковими спотвореннями на крайніх паралелях 10° і 80°

³ Схожий вигляд мають проекції Кассіні-Зольднера, Гаусса-Ламберта, а також Меркатора, яка відома так само, як 11TM або проекція Гаусса-Бога.

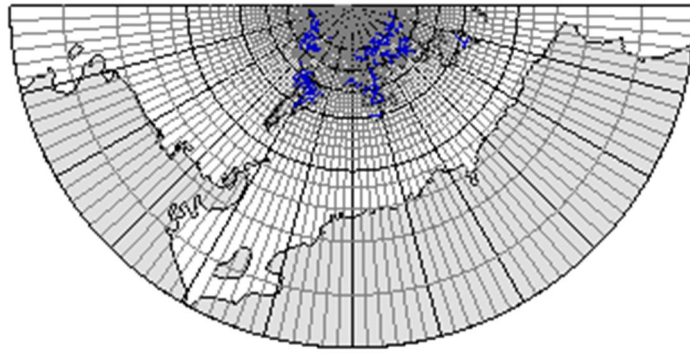


Рисунок 3.22 – Рівнокутна конічна проекція

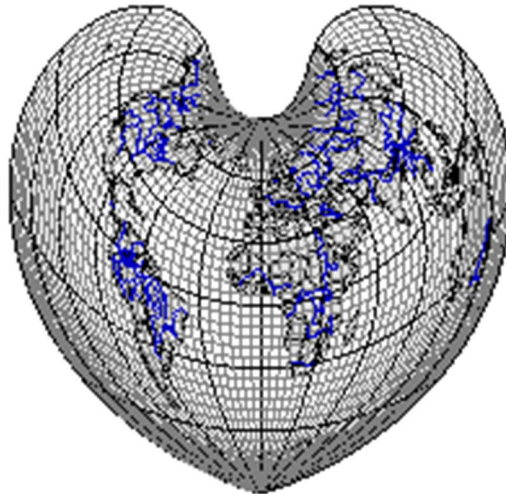


Рисунок 3.23 – Рівновелика псевдоконічна проекція Бонна
(стандартна паралель – 50°)

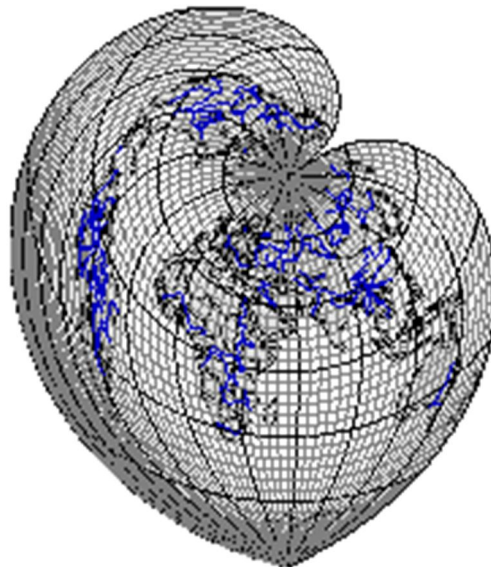


Рисунок 3.24 – Псевдоконічна проекція Штабу-Вернера (серцеподібна).⁴

⁴ Спотворення відсутні на середньому меридіані (55°) і Північному полюсі.

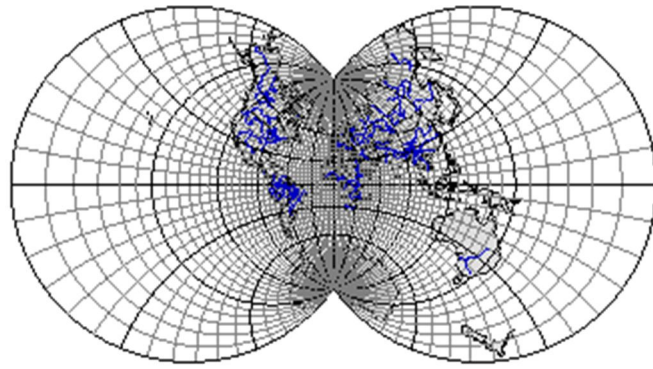


Рисунок 3.25 – Поліконічна проекція Лагранжа

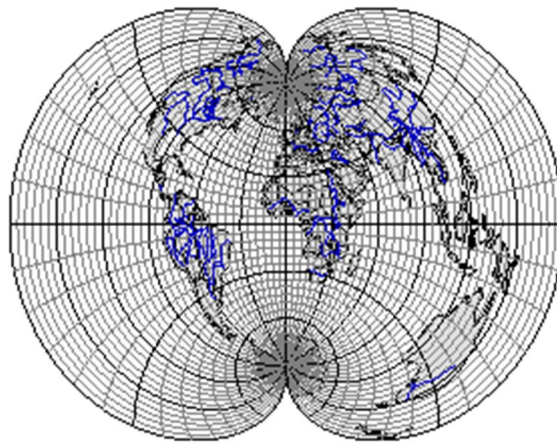


Рисунок 3.26 – Проста поліконічна проекція

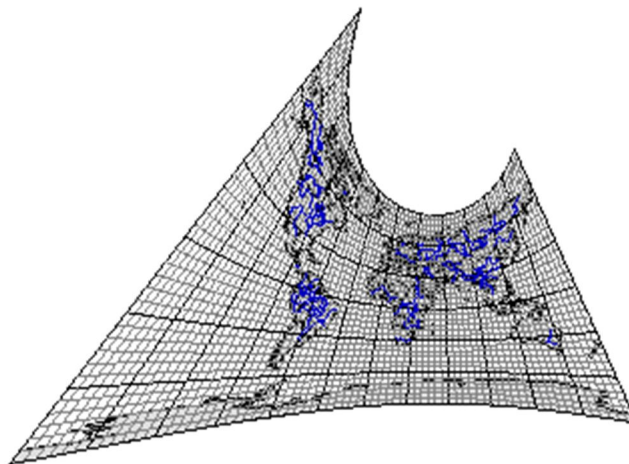


Рисунок 3.27 – Видозмінена проста поліконічна проекція

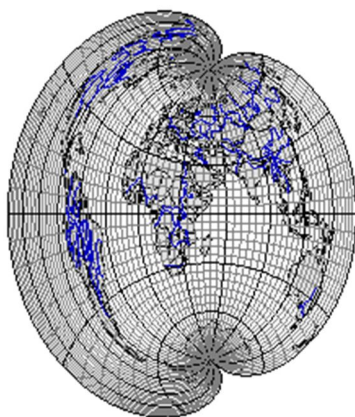


Рисунок 3.28 – Рівновелика поліконічна проекція

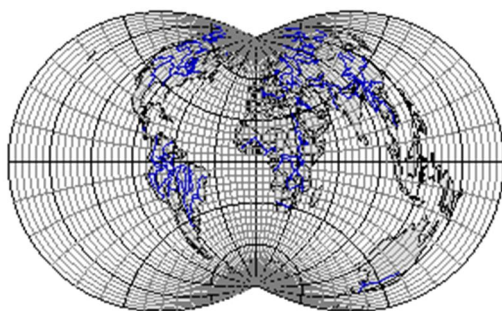


Рисунок 3.29 – Ортогональна поліконічна проекція

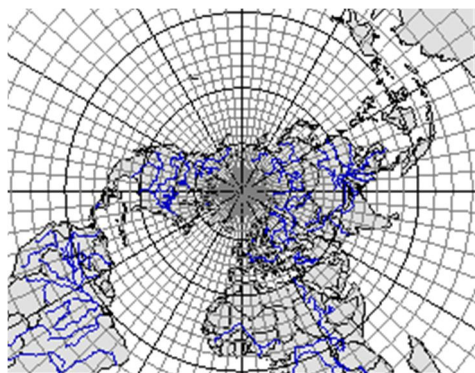


Рисунок 3.30 – Рівнокутна азимутальна проекція

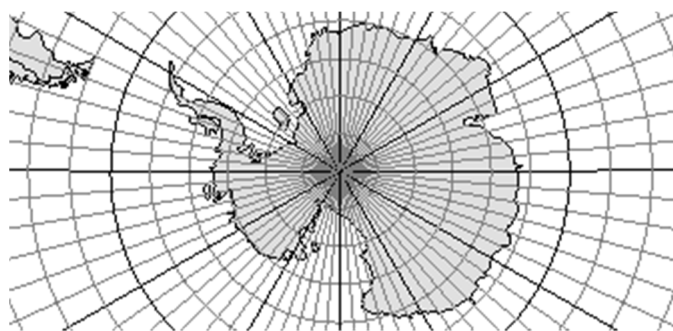


Рисунок 3.31 – Рівнокутна азимутальна проекція для зображення полярних областей

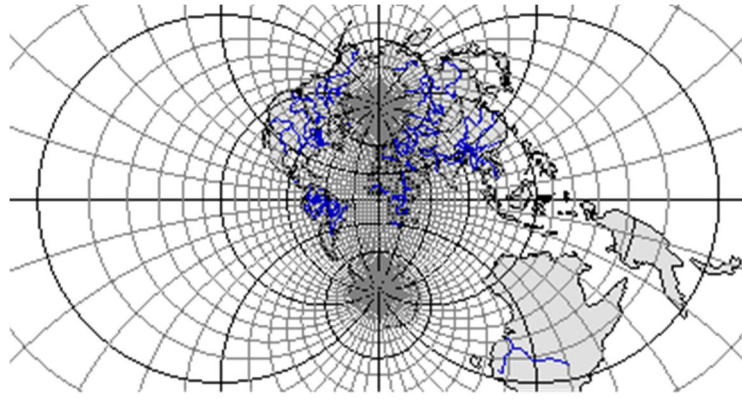


Рисунок 3.32 – Рівнокутна азимутальна проекція для зображення територій з округлими обрисами (крім полярних областей)

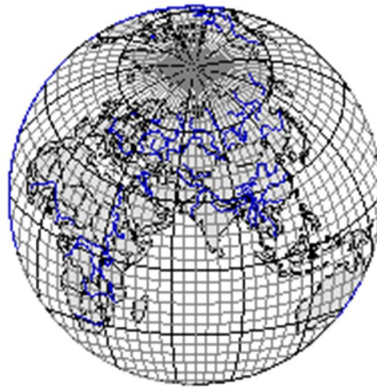


Рисунок 3.33 – Рівновелика азимутальна проекція кулі Ламберта.⁵

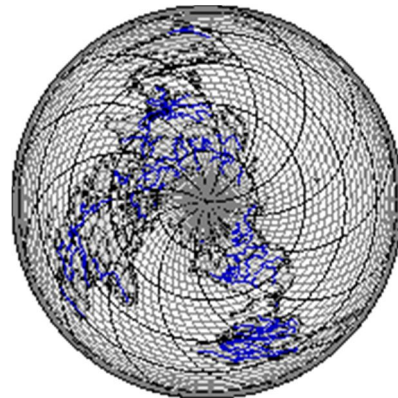


Рисунок 3.34 – Псевдоазимутальна проекція Віхеля

⁵ Аналогічно виглядає проекція Постеля (у ній також відсутні спотворення уздовж стандартної паралелі).

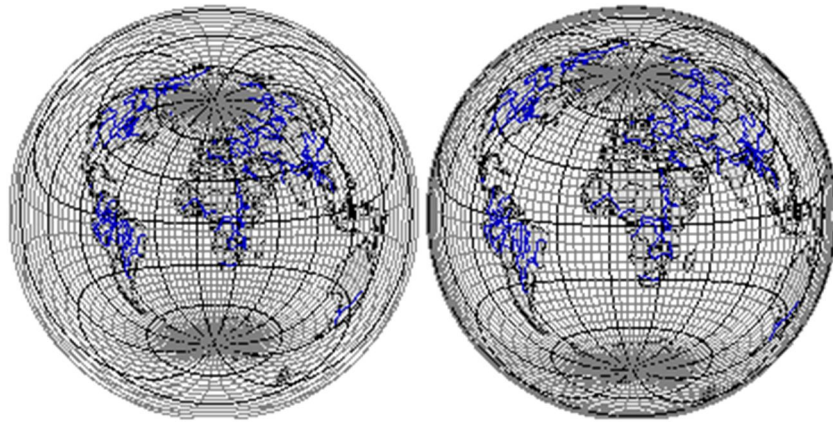


Рисунок 3.35 – Псевдоазимутальна проекція Гінзбурга:
зліва – проста; справа – з ефектом опуклості

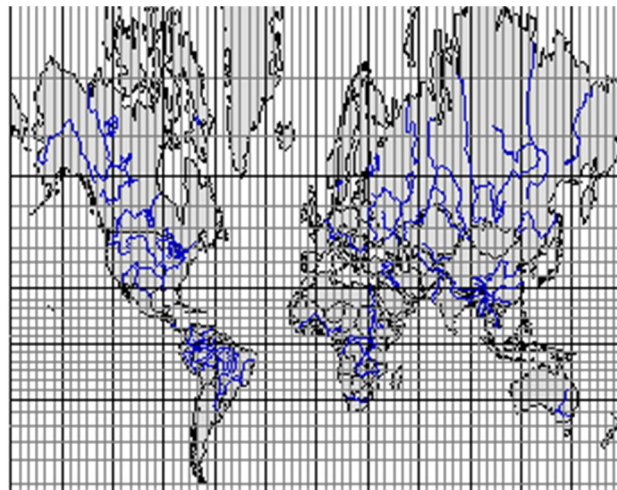


Рисунок 3.36 – Перспективно-циліндрична проекція Уетча

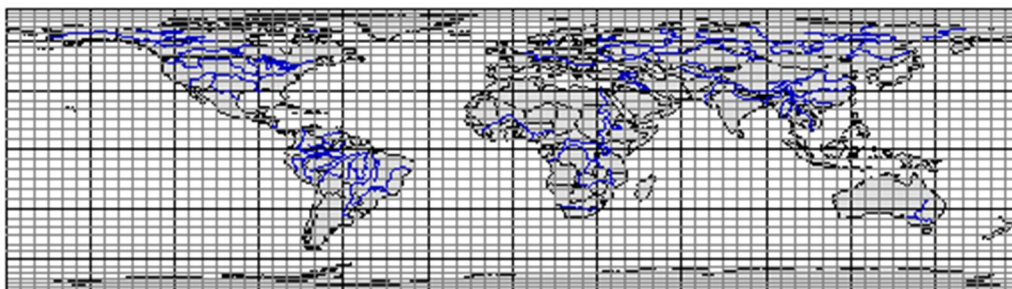


Рисунок 3.37 – Комбінована перспективно-циліндрична проекція
з негативним і позитивним зображеннями

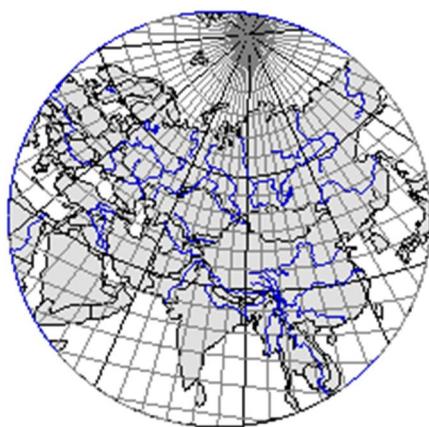


Рисунок 3.38 – Гномічна проекція (перспективно-азимутальна з негативним зображенням)

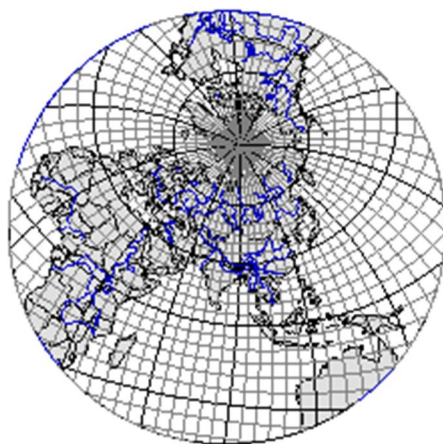


Рисунок 3.39 – Стереографічна проекція (перспективно-азимутальна з негативним зображенням)

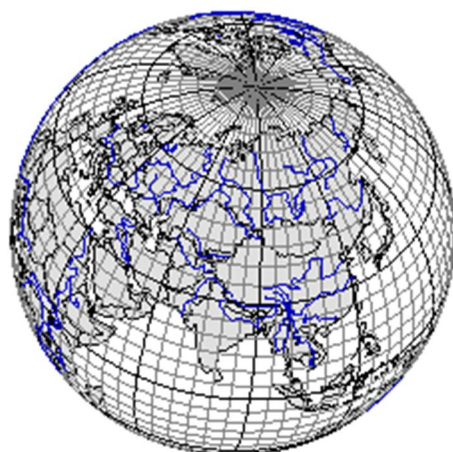


Рисунок 3.40 – Ортографічна проекція (перспективно-азимутальна з негативним зображенням)

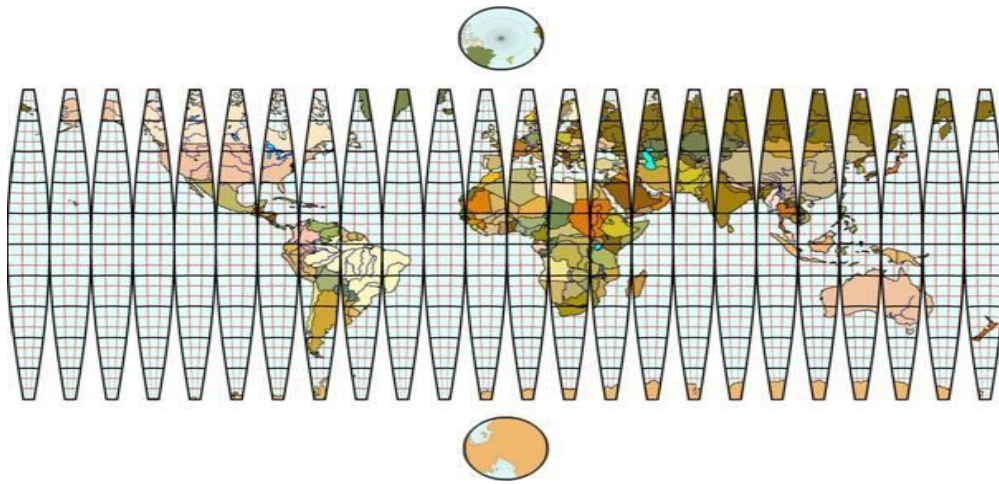


Рисунок 3.41 – Розгортка глобуса

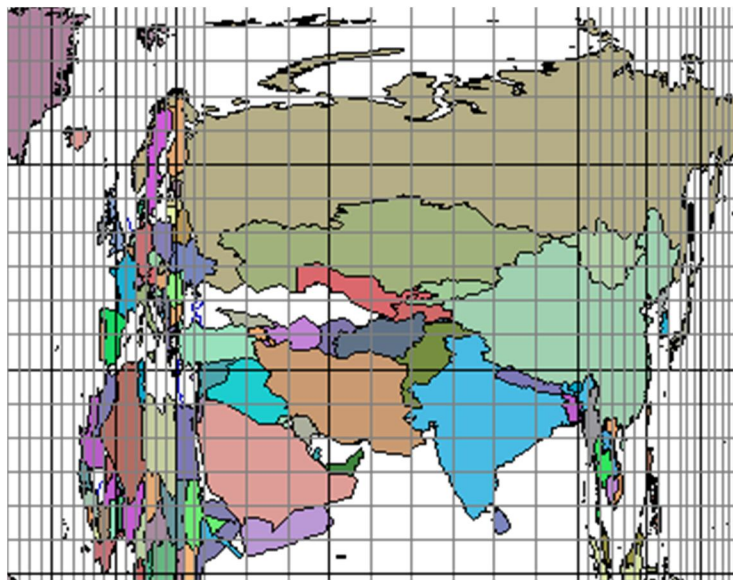


Рисунок 3.42 – Змінно-масштабна проекція

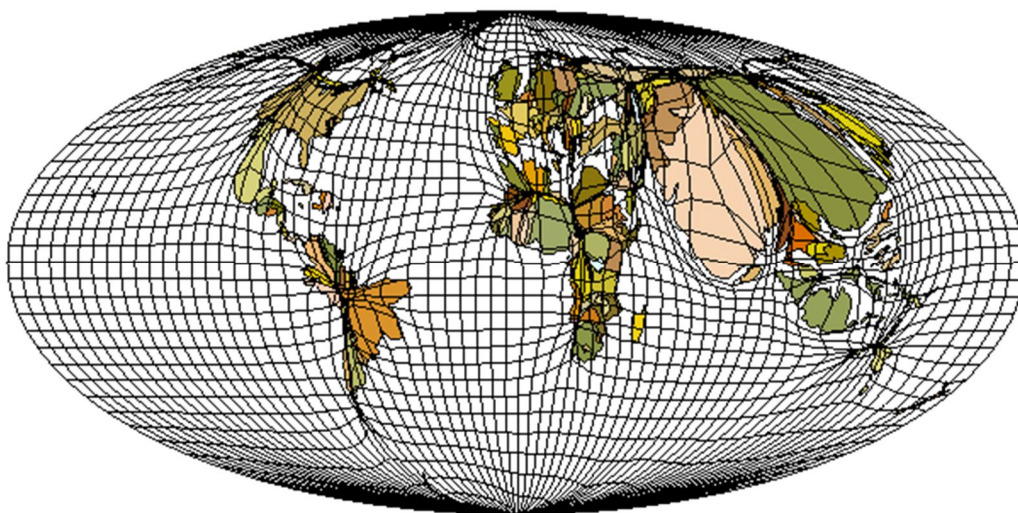


Рисунок 3.43 – Еквідемічна карта світу
(анаморфізм по населенню окремих регіонів країн)

Із усієї сукупності проєкцій в Україні здебільшого використовується «подвійна» рівнокутна поперечно-циліндрична проєкція Гаусса-Крюгера, що зберігає довжини на середньому меридіані. Ця проєкція найбільше підходить для картографування території України, що різниться великим територіальним охопленням.

3.3 Картографічні та координатні сітки

Для зручності роботи на географічних картах із певною частотою надається зображення сітки паралелей і меридіанів, яке називається *картографічною сіткою*. За допомогою такої сітки легко оперувати географічними координатами на місцевості, але більшість практичних завдань за такими картками виконувати складно (за винятком карт, поданих в простих циліндричних проєкціях). Саме тому на сучасних топографічних картах до картографічної сітки додається *координатна сітка*, що є системою взаємно перпендикулярних прямих, паралельних або перпендикулярних до ліній початкового меридіана карти.

У таблиці 3.1 зазначено, як часто координатна сітка надається на картах, що застосовуються в Україні.

Таблиця 3.1 – Координатна сітка на картах України

Масштаб	Частота координатної сітки	
	На карті, см	На місцевості, м
1:500	10	50
1:1000	10	100
1:2000	10	200
1:5000	10	500
1:10 000	10	1000
1:25 000	4	1000
1:50 000	2	1000
1:100 000	2	2000
1:200 000	2	4000

Застосування координатної сітки істотно спрощує вимірювання відстаней, кутів, напрямів, площ, а також забезпечую швидкість візуальної оцінки.

3.4 Лініювання й номенклатура карт

Система розподілу карт на окремі аркуші називається *лініюванням*.

На практиці використовуються дві основні системи лініювання – *по лініях картографічної сітки* і *по лініях координатної сітки*. Крім того, у низці випадків застосовується прямокутне лініювання – по лініях, паралельних і перпендикулярних до середнього меридіана.

Лініювання по лініях картографічної сітки зазвичай використовується в дрібномасштабних картах. Приміром, в Україні топографічні карти, що складаються в проекції Гаусса-Крюгера і в масштабах від 1:10 000 до 1:1 000 000, будуються в шестиградусних зонах. Координатними осями є прямолінійний середній меридіан зони (вісь абсцис) і прямолінійний екватор (вісь ординат). Нумерація координатних зон проводиться із заходу на схід від Грінвіча. Довгота осьових меридіанів зон визначається за формулою $L_o = 6N - 3$, де N – номер зони.

Система координат в кожній зоні однакова. Щоб виключити негативні ординати, до всіх ординат додається константа 500 000 ма вже отримане значення відображається на картах. У випадках, коли необхідно показати координати, визначені в різних зонах, додатково до ординат додається величина $N \times 1\,000\,000$.

Для топографічних планів із масштабом 1:5000 і більше використовуються триградусні зони, а осьові меридіани визначаються як $L_o = 3N$, де N – номер зони.

Система позначень окремих аркушів карти після розлініювання називається *номенклатурою* карт.

Лініювання й номенклатура українських карт базується на карті, масштаб якої становить 1:1 000 000, що є кривобічною трапецією і має 6° по довготі і 4° по широті. Усі мільйонні карти позначаються так: «Латинська літера + арабська цифра». Латинськими літерами позначають трапеції по широті: послідовно від А (широти $0-4^\circ$) до V (широти $84-88^\circ$). Буквою Z позначається карта в районах полюса (широта $88-90^\circ$). Арабська цифра позначає номер однієї з 60 колон завширшки 6° , нумерація яких ведеться від 180° (рис. 3.44).

Приміром, трапеція N-37 відповідає $52-56^\circ$ широти і $36-42^\circ$ довготи. На цьому аркуші карти розташовується столиця України – Київ.

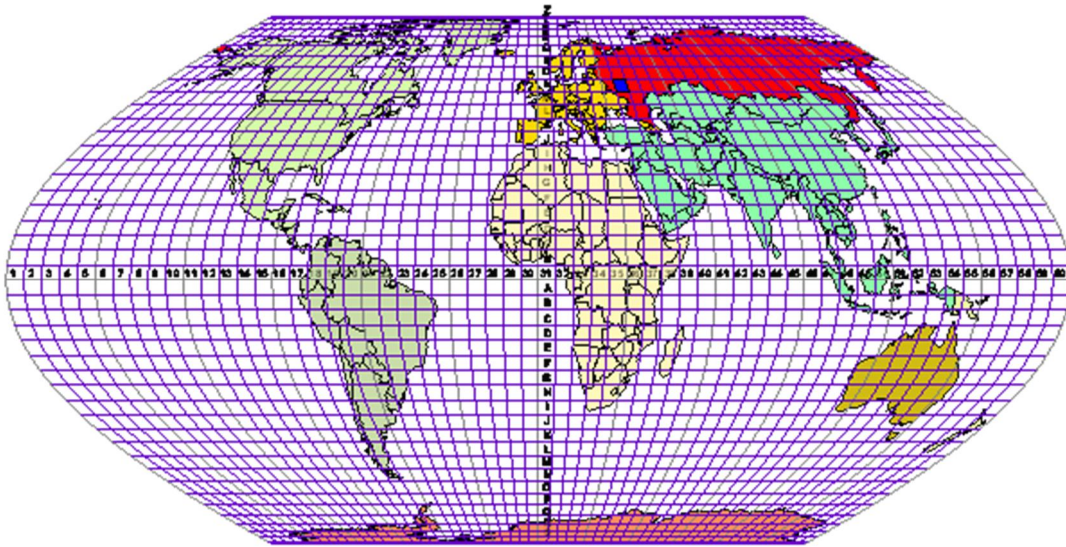


Рисунок 3.44 – Номенклатура й лініювання аркушів карт із масштабом 1:100 000

Кожна карта масштабу 1: 1 000 000 містить 2×2 – чотири трапеції масштабу 1:500 000 (зазначено у вигляді N-37-Г – у кінці додається українська прописна буква А, Б, В або Г), 3×3 – дев'ять трапецій масштабу 1:300 000 (позначаються у вигляді IX-N-37 – на початку додається римська цифра від I до IX), 6×6 – 36 трапецій масштабу 1:200 000 (позначаються у вигляді N-37-XXXVI – у кінці додається римська цифра від 1 до 36) і 12×12 – 144 трапецій масштабу 1:100 000 (зазначено у вигляді N-37-144 – у кінці додається арабськими цифрами номер трапеції).

Номенклатура аркушів карт із більшими масштабами будується аналогічно, але на підставі аркуша карти масштабу 1:100 000.

Кожна карта масштабу 1: 100 000 містить 2×2 – чотири трапеції масштабу 1:50 000 (зазначено у вигляді N-37-144-Г – у кінці додається українська прописна буква А, Б, В або Г).

Зі свого боку кожна карта масштабу 1:50 000 може бути розбита на 2×2 – чотири трапеції масштабу 1:25 000 (зазначено у вигляді N-37-144-Г-г – у кінці додається українська мала літера а, б, в або г) або 4×4 – 16 трапецій масштабу 1:10 000 (позначаються у вигляді N- 37-144-Г-г-4 – у кінці додається арабськими цифрами номер трапеції).

Під час лініювання карт із масштабом 1:5000 і 1:2000, створюваних для території понад 20 км², також обирається деякий базовий аркуш карти масштабу 1: 100 000, який ділиться на 16×16 – 256 частин – карт масштабу 1: 5 000 (позначаються у вигляді N-37-144-Г – (256) – в кінці додається арабськими цифрами номер аркуша в дужках), а кожен аркуш масштабу 1: 5000 ділиться на 3×3 – 9 аркушів карти масштабу 1: 2000

(позначаються у вигляді N-37-144-г (256) – у кінці додається мала літера а, б, в, г, д, е, ж, к або л, що позначає аркуш).

Для топографічних планів, що створюються на ділянці площею менше ніж 20 км², застосовується лініювання по прямокутній координатній сітці з розмірами рамок 40×40 см² для планів масштабу 1: 5000, а для масштабів 1: 2000, 1: 1000 і 1:500 – 50×50 см². До того ж в основа лініювання обирається аркуш карти масштабу 1: 5000, що позначається арабськими цифрами. Порядок нумерації цих аркушів встановлюється довільно, за рішенням головного архітектора населеного пункту (рис. 3.45). Таку номенклатуру аркушу карт зазвичай називають внутрішньою номенклатурою.

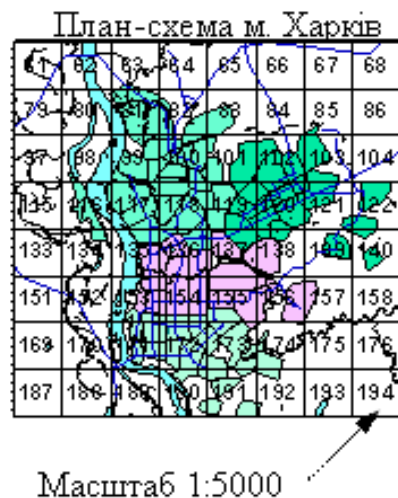


Рисунок 3.45 – Внутрішньоміська номенклатура й лініювання аркушів топографічних планів масштабу 1:5000 на прикладі м. Харків

У цьому лініюванні аркуш масштабу 1:5000 ділиться на 2×2 – чотири аркуші масштабу 1:2000 (позначаються великими українськими буквами А, Б, В і Г), які, зі свого боку, діляться ще на 2×2 – чотири аркуші масштабу 1:1000 (позначаються римськими цифрами) або на 4×4 – 16 аркушів масштабу 1:500 (позначаються арабськими цифрами).

3.5 Джерела просторових даних

Джерелами просторових даних є аналогові або цифрові дані, які слугують базою для створення моделей просторових даних. Існує декілька головних типів джерел просторових даних:

1. *Картографічні джерела*, зокрема карти, плани, атласи, схеми та інші картографічні зображення, нанесені на папір, картон, плівку, пластик або інші носії. Такі дані необхідно спочатку подати в електронному вигляді, застосувавши сканування або цифрове фотографування. Отримані растрові

зображення можна безпосередньо використати як шар карти в ГІС або їх можна *векторизувати* – подати у векторному вигляді. Крім сучасного методу «сканування-векторизація», раніше широко (зараз уже зрідка) використовувався метод *цифрування (дигіталізації)*, коли векторні дані безпосередньо копіювалися спеціальним пером із твердої копії карти, покладеної поверх *дигітайзера (цифрового планшету)*.

2. Дані *дистанційного зондування* (далі – ДДЗ), включаючи аеро- й космознімки у видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому, радіодіапазоні або в декількох діапазонах хвиль одразу; результати лазерного сканування поверхні землі, а також інші дані, отримані неконтактним способом.

3. Дані *польових досліджень*, отримані шляхом використання різних геодезійних приладів (теодолітів, нівелірів, електронних тахеометрів, лазерних сканерів) і приладів глобальної супутникової навігації (GPS, ГЛОНАСС, Galileo).

4. Дані *натурних спостережень* на гідрометеорологічних та інших постах чи станціях. Зазвичай ці дані відображають розподіл полів деяких явищ на Землі, таких як температура, опади, швидкість, напрям вітру тощо. Ці дані здебільшого передаються в ГІС у вигляді точкових об'єктів (із координатами місця спостереження), заданих у вигляді атрибутів вимірюваного значення.

5. *Статистичні дані* відомчої та державної статистики. Такі дані зазвичай містяться в ГІС у вигляді атрибутів просторових об'єктів.

Джерела просторових даних безпосередньо не передаються в геоінформаційну систему для використання.

3.6 Векторизація

Процедура *векторизації* призначена для змінювання наявних картографічних зображень із растрового у векторний вигляд. Передбачається, що за допомогою сканера або цифрового фотоапарата буде отримано растрове зображення, яке потрібно векторизувати за допомогою комп'ютера.

У наш час масове застосування векторизації в ГІС здебільшого вимушене й тимчасове явище. Із часом значення векторизації під час підготування даних для ГІС буде зменшуватися, оскільки вже зараз майже всі створювані карти за допомогою комп'ютерів виготовляються одразу у векторній формі, а тому в майбутньому для всіх паперових карт будуть розроблятися вихідні векторні дані, на підставі їх і будуть створювати.

Процедура векторизації розподіляється на декілька головних етапів:

1. *Геометрична корекція знімка*. Необхідність щодо такого етапу може виникати, наприклад, через наявність невеликих похибок в роботі механіки

сканера, що призводить до нерівномірного руху сканувальної головки по протилежних краях сканованого аркуша. Як наслідок, прямокутник на паперовій карті може перетворитися на трапецію на растрі в пам'яті комп'ютера. Якщо дані в комп'ютер вводились за допомогою цифрового фотоапарата, то на цьому етапі також виправляються оптичні спотворення, спричинені оптикою об'єктива фотоапарата.

2. *Прив'язка до необхідної картографічної проекції.* На цьому етапі визначається використана в оригінальному документі картографічна проекція і на растрі відзначається деяка кількість характерних точок, координати яких за необхідністю можна чітко встановити. Такими характерними точками зазвичай є хрести координатної або картографічної сітки, і тільки в разі їхньої недостатньої кількості – інші точкові об'єкти.

3. *Склеювання різних растрів в одне полотно* для суцільного покриття території. Для виконання склеювання на суміжних растрових зображеннях визначають загальні об'єкти (наприклад дорога, що проходить через декілька аркушів карти), координати яких необхідно сумістити на карті. Після цього програма векторизації підбирає оптимальне перетворення (зазвичай кусково-лінійне або кусково-квадратичне), що дає змогу досягнути заданих вимог із мінімальним спотворенням растру;

Після закінчення перших трьох етапів растр зазвичай стає новим, у ньому виправлено всі геометричні й проекційні спотворення. Цей растр також поєднується з іншими, суміжними.

4. *Підготовка до векторизації.* На цьому етапі зазвичай послідовно проводиться коригування яскравості і контрасту (ручним або гістограмним способом), видалення різних шумів (видалення дуже дрібних плям, усунення маленьких розривів ліній тощо.).

5. *Власне векторизація.* Існують три способи векторизації – *ручний, напівавтоматичний і автоматичний.* При ручному способі користувач самостійно зазначає координати фігур просторових об'єктів по растру за допомогою комп'ютерної миші. При напівавтоматичному способі користувач визначає об'єкти, які потрібно векторизувати, а система пропонує векторний варіант (лінію або полігон), який може бути прийнятий користувачем, відкинутий або модифікованим. В автоматичному режимі програма аналізує відразу весь растр і виокремлює всі наявні об'єкти. Головним недоліком автоматичного режиму є невисока точність розпізнавання. Це пов'язано як безпосередньо з математичними і алгоритмічними проблемами під час вирішення завдання розпізнавання, так і з проблемою каскадних помилок, коли один неправильно розпізнаний об'єкт може вплинути на розпізнавання наступного об'єкта. Тому після автоматичного розпізнавання оператор

змушений візуально перевіряти отримані результати і вносити корективи. У підсумку загальний час такої роботи може перевищити час напівавтоматичної векторизації. Саме тому на практиці поширення набули програми напівавтоматичної векторизації, які забезпечують гнучке керування процесом змінювання растру у векторний вигляд.

3.7 Дистанційне зондування

Дані дистанційного зондування (далі – ДДЗ), включаючи аеро- й космознімки у видимому, інфрачервоному, ультрафіолетовому, радіодіапазоні або в багатьох діапазонах хвиль одразу; результати лазерного сканування поверхні Землі, а також інші дані, отримані неконтактним способом є одними із головних типів джерел просторових даних..

На сьогодні найбільший обсяг ДДЗ надходить від оптичних або радіосенсорів, встановлених на штучних супутниках Землі, або на літаках. Крім того, інколи використовуються гвинтокрили, дирижаблі та різноманітні безпілотні літальні апарати (радіокеровані гвинтокрили й літаки).

Сенсори, встановлені на супутниках і придатні для картографічних робіт, мають відносно низьку відокремлювальну здатність. Найкращі з них мають точність 2, 1 і 0,6 м в оптичному діапазоні. Апарати, що працюють у багатьох діапазонах одночасно, зазвичай дають менший дозвіл (5, 10, 50, 100 м), особливо в радіодіапазоні. Крім того, дозвіл по вертикалі й горизонталі іноді буває різним.

На рисунку 3.46 подано космічний знімок великої території з низьким дозволом.



Рисунок 3.46 – Космічний знімок м. Харків

На рисунку 3.47 подано космічний знімок з високою відокремлювальною здатністю, виконаний із метою створення карти м. Харків у масштабі 1:5000. Варто також зазначити, що на супутниках працюють сенсори із набагато вищою відокремлювальною здатністю, ніж 0,4, однак вони мають вузьку смугу фотографування, яка не забезпечує взаємного перекриття знімків, і низку інших недоліків. На сьогодні такі сенсори використовуються здебільшого тільки в розвідувальній меті.

Висока відокремлювальна здатність космічних фотознімків у деяких випадках все-таки має недоліки. Загальне обмеження кількості пікселів у знімках у разі застосування високого дозволу приводить до утворення невеликої площі картографування області, що не завжди добре. Приміром, при різних завданнях моніторингу (наприклад своєчасне виявлення лісових пожеж) потрібно регулярно отримувати нові знімки однієї і тієї самої ділянки місцевості (для виявлення пожеж – не менше одного разу на добу).

ДДЗ можуть надходити безпосередньо із супутника або з архівів компанії, що експлуатує супутник.

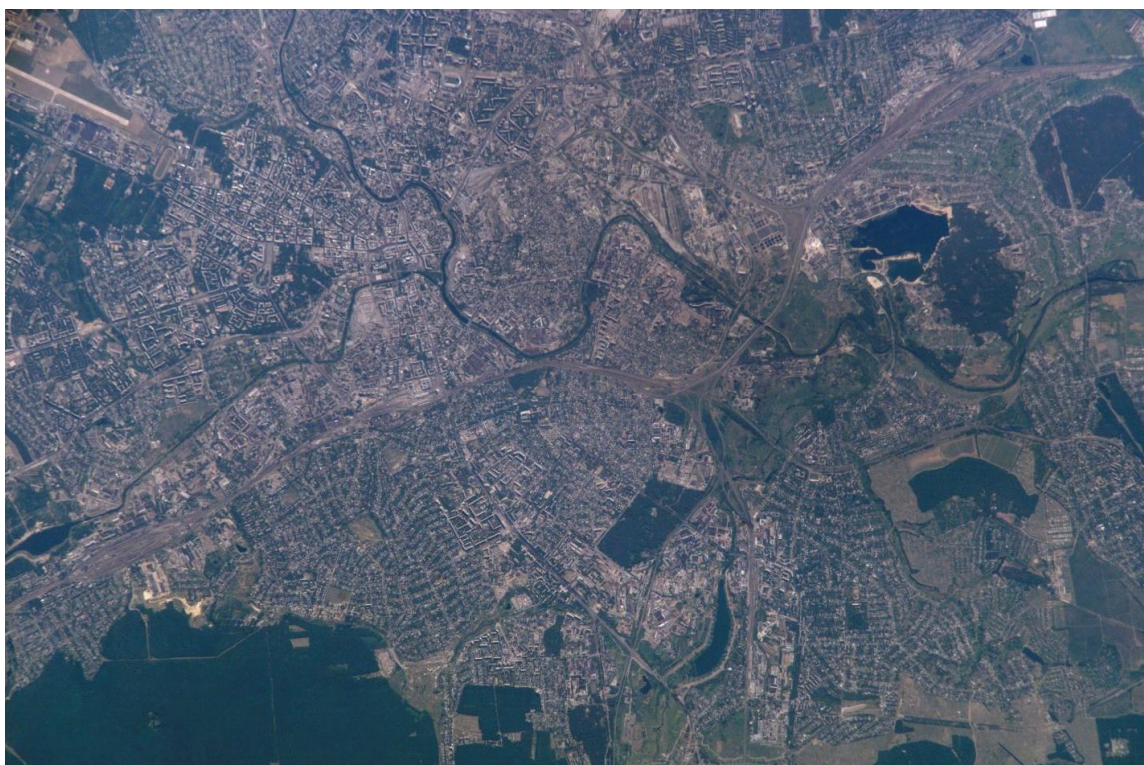


Рисунок 3.47 – Космічний знімок м. Харків

У першому випадку користувач встановлює станцію супутникового прийому, яка приймає всі зображення, зроблені із супутника. Такий підхід зазвичай використовується в супутниках із середнім і низьким дозволом (10– 100 м), регулярність про літання яких над однією і тією самою ділянкою

Землі не менше одного разу на тиждень. Такі станції можуть використовуватися для створення регулярно діючих пунктів моніторингу різних природних явищ.

Отримані із супутника дані користувачі обробляють за допомогою спеціальних програм і переводять у вигляд, зрозумілий геоінформаційним системам і спеціальним системам обробки ДДЗ.

У другому випадку користувач замовляє у експлуатуючої організації знімки обраної ділянки місцевості в заданому дозволі. Якщо такі знімки вже є, то їх витягують із архівів і передають покупцям. Інакше доводиться проводити зйомку із супутника, що зазвичай коштує дорожче, тому що для цього супутник необхідно переорієнтувати.

Під час передачі даних безпосередньо від експлуатуючої супутник компанії знімки надходять уже обробленими і зміненими до необхідної системи координат. Такі знімки можна одразу використовувати в ТІС і системах обробки ДДЗ.

Обробка ДДЗ на деяких етапах нагадує векторизацію, проте істотно відрізняється від неї по суті. Ці етапи є такими:

1. *Геометрична й оптична корекція знімка.* На цьому етапі виправляються геометричні й оптичні спотворення, спричинені об'єктивом сенсора, встановленого на борту літального апарату. Математичні параметри об'єктива зазвичай точно відомі, і цей етап не спричинює ускладнень.

2. *Прив'язка до необхідної картографічної проекції.* На цьому етапі на підставі чіткого розташування в просторі літального апарату, орієнтації об'єктива сенсора й використовуваної системи координат зображення змінюється в деяку проекцію для подальшого оброблення.

3. *Стереοфотограмметрія* призначена для отримання цифрової моделі рельєфу (далі – ЦМР) на підставі стереопар – пар перекриваючих знімків. Для цього вихідні знімки необхідно взаємно скоординувати й прив'язати не тільки до деякої проекції, але й до висотної системи координат. Після цього в автоматичному або ручному режимі будують ЦМР. У ручному режимі користувач має змогу в стереорежимі (за допомогою спеціальних окулярів із рідкокристалічними шторками і звичайного монітора або за допомогою окулярів з двома маленькими вбудованими моніторами) переглянути зображення, навести різкість на необхідний видимий об'єкт, а програма визначає його розташування в просторі.

4. *Ортокорекція.* Ця операція передбачає «поправку за рельєфом», виправляючи геометричні спривчинені, викликані фотографуванням у перспективі місцевості з нерівномірністю реальних висот (промені світла ніби виходять із певних точок місцевості і сходяться в об'єктиві). Для виконання

такого перетворення необхідно знати карти висот на місцевості. Після виконання ортокорекції отримують неспотворений знімок, ніби створений безліччю паралельних променів в ортографічній проекції.

5. *Склеювання різних растрів в одне полотно* для суцільного покриття території. Для виконання склеювання на суміжних растрових зображеннях визначають загальні об'єкти, координати яких необхідно сумістити на карті. Після цього програма підбирає оптимальне перетворення, що уможливило досягнення заданих вимог із мінімальним спотворенням растру.

Після проведення перших п'яти етапів растр зазвичай перетворюється на новий, у якому виправлено всі геометричні й проекційні спотворення, зроблено ортокорекцію («поправка за рельєфом»), а також ув'язано цей растр із суміжними.

6. *Дешифрування*. Перелік операцій, що виконуються на цьому етапі, обумовлюється типом вихідних даних і дешифруючих об'єктів, тому типові растрові ГІС містять багатий набір найрізноманітніших інструментів.

Спочатку з растрів виокремлюють канали, необхідні для виконання дешифрування. Потім растр коректується яскравістю – змінюється яскравість і контраст зображення гістограмним або ручним способом.

Для поліпшення якості зображення, видалення шумів і виділення об'єктів, що цікавлять, застосовують *фільтрацію* растрів.

Згладжувальні фільтри забезпечують отримання яскравості пікселя за допомогою усереднення з деякими позитивними коефіцієнтами яскравості суміжних пікселів. При цьому зазвичай знижується візуально спостережуваний шум. Здебільшого застосовуються *Average, Gauss, Median, Brown, Lev, Graham, Nagao* та інші фільтри.

Протилежним щодо згладжувальних є *фільтри, що виокремлюють кордон*. Усереднення яскравості суміжних пікселів у них проводиться з різними за знаком (позитивними і негативними) коефіцієнтами. Здебільшого використовують фільтри *Sharp, Sobel, Prewitt* тощо.

Порогова фільтрація використовується для перетворення вихідного растру в бінарний вигляд за умовою перевищення (або потрапляння в заданий діапазон) яскравості заданого значення. Таким чином можна досить легко виокремити рівномірно зафарбовані (однорідні) області, наприклад рілля, луки, річки, дороги тощо.

Незважаючи на наявність численних автоматизованих методик, як і раніше широко застосовують «ручні» методи дешифрування. Для цього забезпечують *тематичну обробку растру* ГІС, що включає логічні й арифметичні операції, класифікацію й різноманітні способи відображення, які дають змогу візуально оцінити растр і виокремити необхідні об'єкти.

3.8 Геодезійні дослідження

Найточніші відомості про просторові об'єкти на Землі можна отримати тільки внаслідок польових геодезійних пошуків. Розділ науки щодо збору й обробки таких досліджень називається *інженерною геодезією*.

3.8.1 Геодезійні прилади

У наш час у геодезії здебільшого використовують такі технічні засоби збору інформації:

1. *Далекоміри (вимірювачі відстаней)*. Це *рулетки* (сталеві, фібергласові й тканинні) і *лазерні далекоміри* (рис. 3.48). Лазерний далекомір випромінює *лазерний промінь*, який відбивається від вимірюваного об'єкта, а фото давач, убудований в далекомір, із високою точністю вимірює час проходження променя. Після цього на підставі виміряного часу далекомір обчислює відстань до об'єкта.

2. *Оптичні нівеліри (вимірювачі перевищень)*. Нівеліри призначені для вимірювання перевищення однієї ділянки місцевості над іншими. Прилад складається з горизонтального кола що обертається навколо вертикальної осі на якому встановлена горизонтальна зорова труба (рис. 3.49).

Перед початком роботи з нівеліром один із дослідників повинен встановити прилад горизонтально за допомогою вбудованого в прилад рівня, обертаючи регулювальні гвинти. Після цього можна розпочинати знімання.

До нівеліра додається спеціальна вимірювальна рейка, яка встановлюється іншим дослідником в вимірюваному місці. Далі перший дослідник повинен навести візир оптичної труби приладу на вимірювальну рейку, а потім записати видиме в трубі значення на рейці.

3. *Лазерні рівні (лазери)*. Лазерні рівні, як і нівеліри, призначені для вимірювання перевищень. Лазерний рівень складається з горизонтального швидкообертового кола, на якому встановлено лазерний випромінювач, зазвичай червоного кольору (рис. 3.50).

Перед початком роботи лазерний рівень встановлюється оператором горизонтально за допомогою регулювальних гвинтів і вбудованого рівня. Деякі моделі лазерних рівнів встановлюють горизонталь автоматично. Після ввімкнення приладу в просторі навколо нього утворюється червона площина, видима людським оком.

Для вимірювання рівня Землі в будь-якій необхідній точці, навколо приладу потрібно встановити спеціальну вимірювальну лінійку. Після цього

потрібно записати значення, встановлене лазерним променем у місці його перетину з лінійкою.

4. *Теодоліти (вимірювачі кутів)*. Теодоліти дають змогу вимірювати вертикальні й горизонтальні кути. Прилад складається з горизонтального кола (*лімба*) з *алідадою*, що обертається навколо вертикальної осі, на її підставку спирається горизонтальна вісь обертання зорової труби й вертикального кола (рис. 3.51).

Перед початком роботи з теодолітом оператор повинен встановити його горизонтально за допомогою вбудованого в прилад рівня, обертаючи регулювальні гвинти. Після цього можна проводити знімання. оператор повинен навести візир оптичної труби приладу на відбивач або вимірюваний об'єкт, а потім записати вертикальний і горизонтальний кути, які відображаються приладом.

5. *Тахеометри*. Тахеометром називають теодоліт, поєднаний з далекоміром. Сучасні *електронні тахеометри* оснащуються мікрокомп'ютерами, які показують на моніторі обчислені кути і відстані, а також можуть відразу ж перетворювати їх в координати на місцевості.

Тахеометри бувають *відбивні і безвідбивачеві*. Для роботи відбивних тахеометрів потрібні *відбивачі*, що встановлюються на вешках (рис. 3.52). У роботі безвідбивачевих тахеометрів використовується потужний лазерний промінь, який може відбиватися від будь-яких об'єктів на місцевості.

Під час роботи зі звичайним тахеометром оператор повинен навести візир оптичної труби приладу на відбивач, а потім натиснути кнопку виконання знімання. Для роботи з *автоматизованими тахеометрами* оператору не потрібно стояти біля тахеометра і наводити прилад на відбивач. Кнопка виконання знімання розташовується на віхі з відбивачем. При натисканні на цю кнопку радіосигнал із віхи передається на тахеометр, той самостійно виконує наведення по радіосигналу й здійснює знімання точки (див. рис. 3.52, в).

6. *Лазерний сканер*. Лазерні сканери за своїми функціями подібні до електронних безвідбивачевих тахеометрів (вони вимірюють кути й відстані до будь-яких об'єктів), але вони виконують вимірювання не за одною точкою, яку розглядає оператор, а одразу пакетам. Сканери переміщують лазерний промінь по горизонталі й вертикалі, знімаючи всі об'єкти, які трапляються на їхньому шляху (рис. 3.53). Як наслідок, утворюється щільна мережа точок знімання.

7. *Прилади супутникової навігації*. Системи супутникової навігації розглянуто в п. 3.9. На сьогодні в геодезії застосовуються геодезійні приймачі систем GPS і ГЛОНАСС. Під час проведення геодезійних пошуків вони використовуються зазвичай тільки під час знімання окремих ключових точок на місцевості, наприклад тих, де встановлено тахеометри.

Це обумовлюється низькою швидкістю роботи супутникових приймачів і їхнього невисокою точністю.

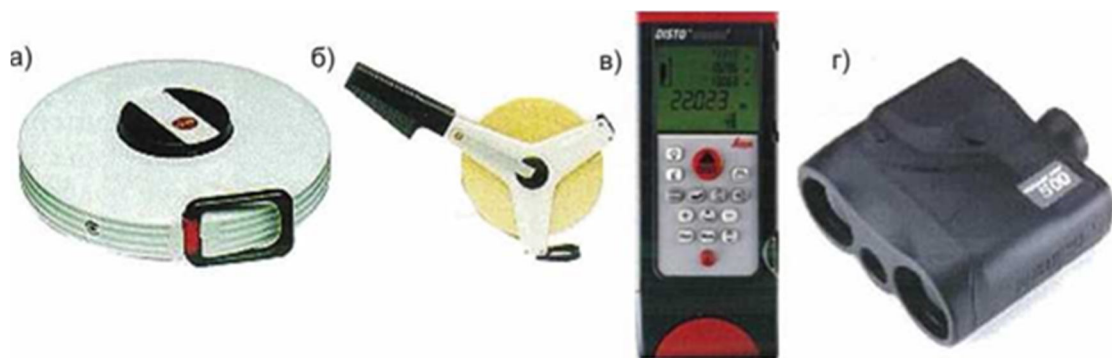


Рисунок 3.48 – Вимірювачі відстаней:
а – сталева 15-метрова рулетка Stabilia 49;
б – фібергласова 50-метрова рулетка Stabilia 42;
в – лазерна рулетка Leica DISTO Classic 5 (лазер видимий);
г – лазерний далекомір Yardage Pro 500 (лазер невидимий)



Рисунок 3.49— нівеліри:
а – оптичний нівелір Nikon AX-2S;
б – цифровий оптичний нівелір Trimble DiNi 12



Рисунок 3.50 — Лазерні рівні:
а – лазерний будівник площині Торсоп ЛЬ-УІЗВ;
б – лазерний уклонофіксатор («трубний» лазер) Торсоп ТР-Б4А

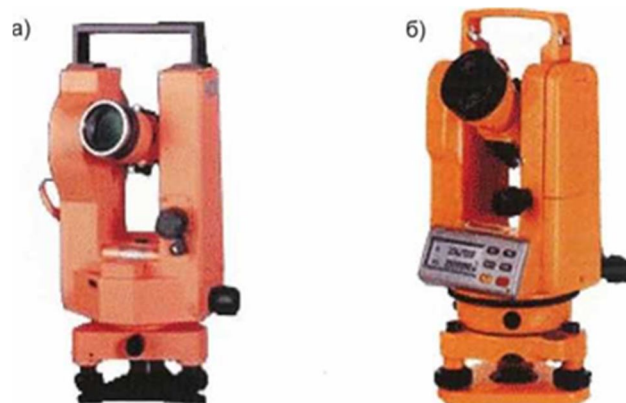


Рисунок 3.51 — Теодоліти:
 а – оптичний теодоліт OM3 3T2KP;
 б – електронний цифровий теодоліт Geo-Fennel FET 120



Рисунок 3.52 — Тахеометри:
 а – електронний тахеометр South NTS-352;
 б – електронний тахеометр Sokkia SET 510 R;
 в – автоматизований тахеометр Trimble 5600 DR



Рисунок 3.53 — Лазерні сканери:
 а – MENSIS GS200; б – Leica CYRAX 2500

У наступних розділах буде розглянуто, використання цих приладів під час знімання розташування просторових об'єктів на місцевості.

3.8.2 Тахеометричне знімання

Процес геодезійного знімання зазвичай складається з двох головних етапів — *планово-висотної знімальної основи* і власне знімання точок на місцевості. Унаслідок знімання основи з великою точністю визначається розташування *станцій* (зазвичай це місця встановлення таких геодезійних приладів, як нівеліри, теодоліти, тахеометри, лазерні сканери) у просторі. Після цього проводиться вже саме знімання з цих станцій.

У наш час для планово-висотної знімальної основи більшості інженерно-геодезійних робіт використовується метод *теодолітного (тахеометричного) ходу*.

Теодолітний хід – це послідовність пунктів (станцій) на місцевості, поєднаних геодезійними вимірюваннями. У кожному пункті теодолітного ходу встановлюється теодоліт або тахеометр, а потім вимірюються кути та відстані до попереднього й наступного пункту ходу. На рисунку 3.54 наведено два приклади теодолітних ходів (розімкнутий і замкнутий). Цифрами 1—9 на рисунку показані місця установа теодоліта, буквами А і В – пункти з відомими координатами, α_i – виміряні теодолітом (тахеометром) кути між напрямками на попередній і наступний пункт, d_{i-j} – виміряні будь-яким далекоміром (наприклад убудованим у тахеометр) відстані між пунктами i та j . Ділянки між послідовними пунктами ходу називаються *сторонами ходу*.

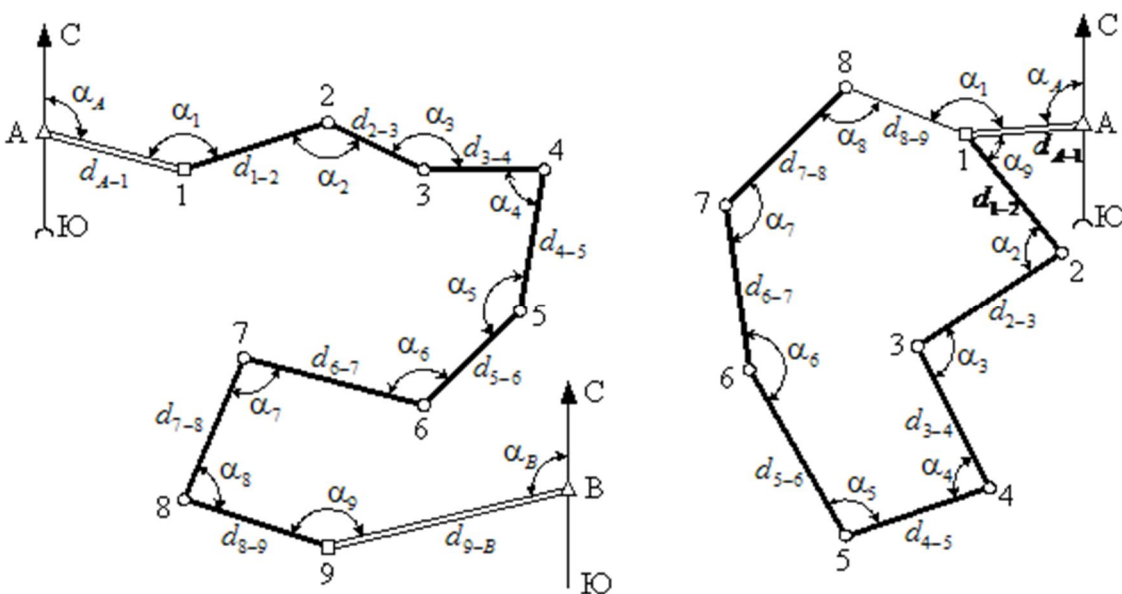


Рисунок 3.54 — Теодолітні ходи: а – розімкнутий; б – замкнутий

Щоб встановити реальні координати пунктів теодолітного ходу, необхідно виконати прив'язку цього ходу до деякої системи координат. Прив'язка виконується до деяких пунктів на місцевості, які мають відомі координати. Це можуть бути пункти державної геодезійної мережі (див. рис. 3.54) або будь-які інші пункти, координати яких виміряні за допомогою приладів супутникового позиціонування. Якщо в пункті геодезійної мережі є можливість чітко визначити напрям на північ і відповідно кут (див. рис. 3.54), то достатньо виконати прив'язку теодолітного ходу тільки до одного відомого пункту. В іншому разі, прив'язку необхідно виконувати принаймні до двох відомих пунктів, зазвичай на початку і в кінці теодолітного ходу. Якщо хід замкнутий, то прив'язку потрібно робити на початку і в середині ходу.

У наведених на рисунку 3.54 прикладах теодолітних ходів не передбачено висоту пунктів ходу.

У *теодолітно-нівелірному* ході за допомогою нівеліра додатково визначається перевищення кожного чергового пункту щодо попереднього і до наступного.

У *теодолітно-тахеометричному* (*тахеометричному*) ході (щодо теодолітного ходу) за допомогою тахеометра (або теодоліта з далекоміром) додатково визначаються вертикальний (а не тільки горизонтальний) кут і відстань від кожного чергового пункту до попереднього і наступного.

Таким чином, у теодолітному ході вимірюються тільки планові координати точок, а в тахеометричному — ще й висотні позначки.

Всім вимірам виконуваним, за допомогою геодезійних приладів, властива деяка похибка, обумовлена точністю приладів, точністю їхнього становлення на місцевості, погодними умовами й індивідуальними рисами людини, що виконує вимірювання. Саме тому під час виконання знімання необхідно передбачати деяку надмірність вимірювань, наприклад виконуючи прив'язку теодолітного ходу до трьох і більше геодезійних пунктів, додаткові вимірювання кутів. Ще один поширений прийом збільшення точності обчислень полягає у збільшенні кількості вимірювань шляхом виконання *зворотного теодолітного ходу*, коли повторно вимірюються всі кути й відстані, але у зворотному порядку — від останнього пункту до першого.

Унаслідок проведення надлишкових вимірювань теоретична сума всіх виміряних кутів повинна бути кратна 180° , якщо прийняти, що кути поворотів наліво — зі знаком «плюс», а направо — зі знаком «мінус». Однак на практиці сума виміряних кутів буде дещо іншого. Величина відмінності теоретичної суми від суми виміряних кутів називається *кутовою не зв'язкістю* ходу.

Сутність *кутового зрівнювання* теодолітного ходу полягає в розподілі загальної величини кутової незв'язки ходу на всі виконані вимірювання. За

найпростішого способу зрівнювання величина кутової незв'язки ділиться на загальну кількість виміряних кутів, отримуємо поправку, на яку змінюється кожен вимірний кут.

Після виконання кутового зрівнювання необхідно зрівняти планові координати точок. Для цього спочатку потрібно обчислити координати всіх відомих геодезійних пунктів на підставі розташування інших пунктів. Ці координати будуть відрізнятися від відомих значень геодезійних пунктів на величину *планової незв'язки*.

Отримана планова незв'язка за допомогою *планового зрівнювання* розподіляється на кожену сторону ходу пропорційно до довжини сторін ходу, унаслідок чого коригуються кути α_i довжини сторін $d_{i,j}$.

Після виконання теодолітного ходу та його зрівнювання з високою точністю отримаємо координати всіх станцій ходу й кути між його сторонами.

Розглянемо, як використовується теодолітний хід під час проведення геодезійних робіт. Теодолітний хід прокладається на місцевості для того, щоб закріпити розташування станцій і виконати знімання пікетів – у різних характерних точках на поверхні Землі. Знімання *пікетів* виконується теодолітами (тахеометрами) так само, як і знімання інших станцій ходу, тобто шляхом вимірювання відстаней і кутів на пікети зі станцій (рис. 3.57). Пізніше, виконуючи камеральне оброблення результатів геодезійних пошуків, ці відстані й кути перераховують у реальні координати пікетів на місцевості. До того ж це перерахування потрібно виконувати після зрівнювання теодолітного ходу, коли розташування станцій вже встановлено з високою точністю.

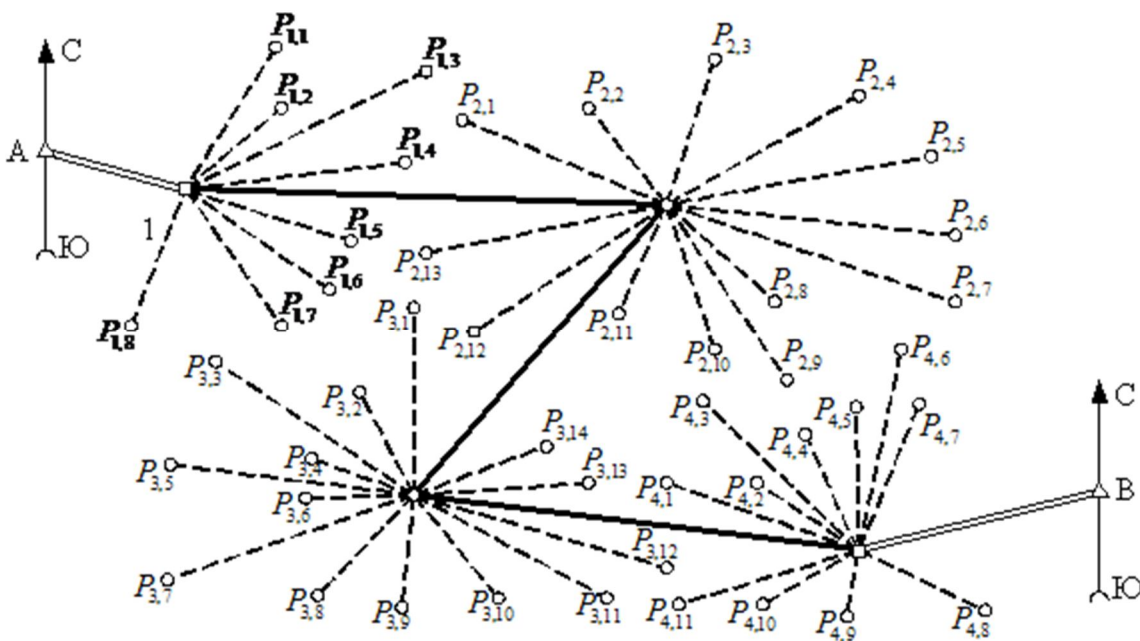


Рисунок 3.55 — Тахеометричне знімання пікетів $P_{i,j}$

3.8.3 Лінійні пошуки

Ще одним поширеним різновидом інженерно-геодезійних пошуків, окрім тахеометричного знімання, є пошук уздовж деякого лінійно-протяжного об'єкта. Такі пошук називають *лінійними*.

Лінійні пошуки розподіляються на три етапи:

1. Прокладання траси та закріплення її на місцевості.
2. Виконання пікетажних пошуків.
3. Нівелювання за поперечниками. Цей етап зазвичай виконується одночасно з попереднім.

Отже, для проведення лінійних пошуків на місцевості спочатку прокладається траса – деяка лінія, яка проходить уздовж лінійного об'єкта (рис. 3.56). Потім на місцевості від початку траси через кожні 100 м прокладають пікети (зазначимо, що термін «пікет» використовуються в іншому значенні, порівняно з попереднім пунктом; тут «пікет» — не знімна точка, а деяка умовна відмітка на осі траси). Пікети іноді відкладаються через 10, 25, 50, 500, 1000 м або іншу відстань, а іноді через неоднакові інтервали.

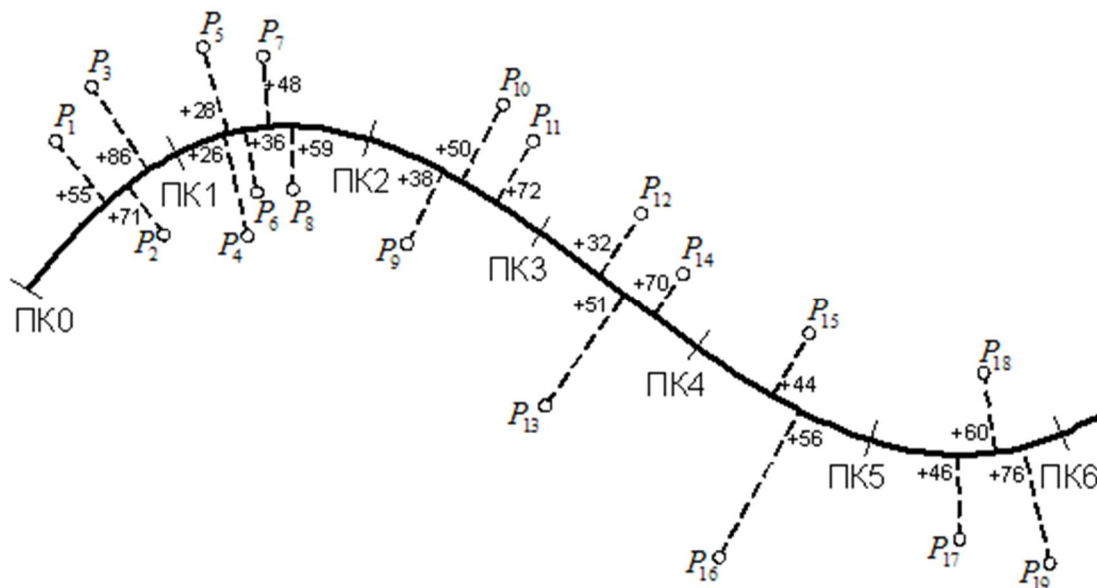


Рисунок 3.56 — Лінійні пошуки (пікетажні й нівелювальні вимірювання)

Кожна точка на трасі відкладається від початку якогось чергового пікету й позначається в форматі ПК<Номер пікету> + <Відстань від початку пікету> (наприклад, ПК0 + 55).

Далі виконується знімання кожної потрібної точки на місцевості. Для цього через кожну точку проводиться *діаметр* до траси, тобто будується перпендикуляр до лінії траси, що проходить через цю точку і вимірюється відстань від цієї точки по перпендикуляру до траси. Для точок, що розміщуються праворуч від траси, результат записується у такому вигляді П + <Відстань до траси> (наприклад П + 20 або просто +20), для точок зліва від траси – у такому вигляді: Л + <Відстань до траси> (наприклад Л + 20 або просто – 20).

3.8.4 Геодезійні побудови

Останнім часом під час проведення геодезійних пошуків, все частіше використовують тахеометри, що дають змогу виконувати будь-які різновиди знімань на місцевості. Проте для низки завдань, як і раніше, використовуються простіші прилади, наприклад нівеліри, теодоліти, рулетки. Це обумовлено як технічно і технологічно, так і економічно.

По-перше, використовувати нівеліри й теодоліти зазвичай простіше й швидше порівняно з повноцінним застосуванням тахеометрів, оскільки точної і досить тривалої установки й геодезійної прив'язки тахеометричної станції не вимагається. Це трапляється тоді, коли точного тривимірного виміру координат знімальних точок не передбачено. Наприклад, під час знімання рівної поверхні автомобільної дороги без колійності немає сенсу проводити точне планове знімання точок, набагато важливішими є визначення висотних позначок. З іншого боку, під час знімання об'єктів інженерного облаштування в кадастрових задачах висотні позначки дорожніх знаків, обгороджень, стовпів ліній електропередач не важливі; важливо планове розташування цих об'єктів.

По-друге, сучасні електронні тахеометри коштують набагато дорожче, ніж звичайні нівеліри, теодоліти й далекоміри, разом узяті. Приміром, ціна електронного тахеометра коливається в діапазоні від 4500 дол. до 10000 дол. (наприклад китайський South NTS-327 коштує 4500 дол., японський Sokkia SET 530 R – 9500 дол.), тоді як оптичні нівеліри коштують приблизно 160–1500 дол., оптичні теодоліти українського виробництва – 550–1050 дол., а ручні лазерні далекоміри – 330–800 дол.

У цьому розділі розглянуто спеціальні математичні прийоми, що в деяких випадках дають змогу спростити застосування таких розповсюджених геодезійних приладів, як нівеліри, теодоліти й далекоміри в разі, якщо немає можливості використати для вимірювань наявні прилади. Наприклад, необхідно виміряти відстань до об'єкта, що розташовується на іншому краю яру, а в

наявності є тільки рулетка й теодоліт, тобто безпосередньо виміряти відстань між двома точками на місцевості вимірити неможливо.

Розглянемо головні різновиди геодезійних побудов:

1. *Перетин двох відрізків.* Цей спосіб призначений для отримання координат точки, що розташовується на перетині двох пар точок, тобто в місці перетину двох відрізків. У такому разі мають бути відомі координати чотирьох точок – координат кінців цих відрізків.

2. *Побудова за трьома точкам.* Цей метод передбачає, що невідома точка розміщується в кутку паралелограма, три інші точки якого відомі.

3. *Лінійна зарубка.* При способі лінійної зарубки далекоміром визначаються тільки відстані від вимірюваної точки до двох відомих точок.

4. *Полярна зарубка.* При цьому методі за допомогою теодоліта потрібно виміряти кут між напрямом на вимірювану точку й перетином двох відомих точок. Крім того, за допомогою далекоміра потрібно визначити відстань від теодоліта до вимірюваної точки.

5. *Пряма кутова зарубка.* Цей метод найчастіше застосовується при теодолітному зніманні важкодоступних точок місцевості. При цьому методі за допомогою теодоліта з двох відомих точок потрібно виміряти кути між вимірюваною та іншою відомою точкою.

6. *Зворотна кутова зарубка.* Цей спосіб дає змогу визначити розташування на місцевості станції з теодолітом, за допомогою вимірювання двох кутів між напрямками на три відомі пункти.

7. *Простецева зарубка.* Цей метод дає змогу визначити розташування точки, що розміщується на простеці двох відомих точок, якщо дано відстань від вимірюваної точки до однієї з точок на простеці.

8. *Побудова за паралельного лінійного.* Цей метод призначений для визначення розташування точки, що розміщується на лінії, яка проходить через задану точку й паралельна до іншої лінії, побудованої за двома іншими відомим точкам.

9. *Побудова перпендикуляром у ворота.* У цьому методі шукана точка розміщується в місці перетину перетину між двома відомими точками зі своїм перпендикуляром, проведеним через іншу відому точку.

10. *Побудова перпендикуляром із простеця.* Цей метод дає змогу визначити розташування точки, якщо відома довжина перпендикуляра з цієї точки до простеця двох заданих точок і відстань від місця перетину цього перпендикуляра із простецем до однієї з точок простеця.

3.9 Глобальні системи позиціонування

Для виконання топографо-геодезійних робіт в заданій системі координат однією з найважливіших вимог є наявність пунктів *державної геодезійної мережі (ДГС)* в безпосередній близькості від точки знімання. Потрібно зауважити, що на території нашої країни такі пункти відсутні (вони там не створювалися або зруйнувалися).

Крім того, можливі випадки, коли застосувати геодезійні методи, зняти координати неможливо, наприклад у русі, на борту повітряного або водного судна.

Для вирішення наведених вище завдань призначені *глобальні системи позиціонування*. У наш час функціонують американська система GPS (Global Positioning System) і російська глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС. Крім того, готується до введення в експлуатацію європейська система Galileo.

Усі ці системи складаються з трьох підсистем: наземного контролю й управління; сузір'я (угруповання) космічних апаратів; апаратури користувачів.

Підсистема наземного контролю й управління складається із станцій спостереження за супутниками, служби точного часу, головної станції з обчислювальним центром і станції завантаження даних на борт супутників.

Супутники проходять над контрольними пунктами двічі на добу. Зібрана на станціях стеження інформація про орбіти супутників використовується для прогнозування точного розташування супутників на орбіті. Уся сукупність відомостей про траєкторії всіх супутників називається *альманахом* і завантажується на всі супутники одразу.

У супутникових системах GPS і ГЛОНАСС є по 24 головні діюві й декілька резервних супутників (рис. 3.57), які рівномірно розподілені в навколосемному просторі на висотах приблизно 20 тис. км в шести і трьох орбітальних площинах відповідно (рис. 3.58).

У системі Galileo буде 27 базових і три резервні супутники, розташовані на висоті 23 200 км.

На кожному супутнику встановлено сонячні батареї, маневрові двигуни, атомні еталони частоти часу, а також приймачі радіосигналів.



Рисунок 3.57 – Український навігаційний супутник

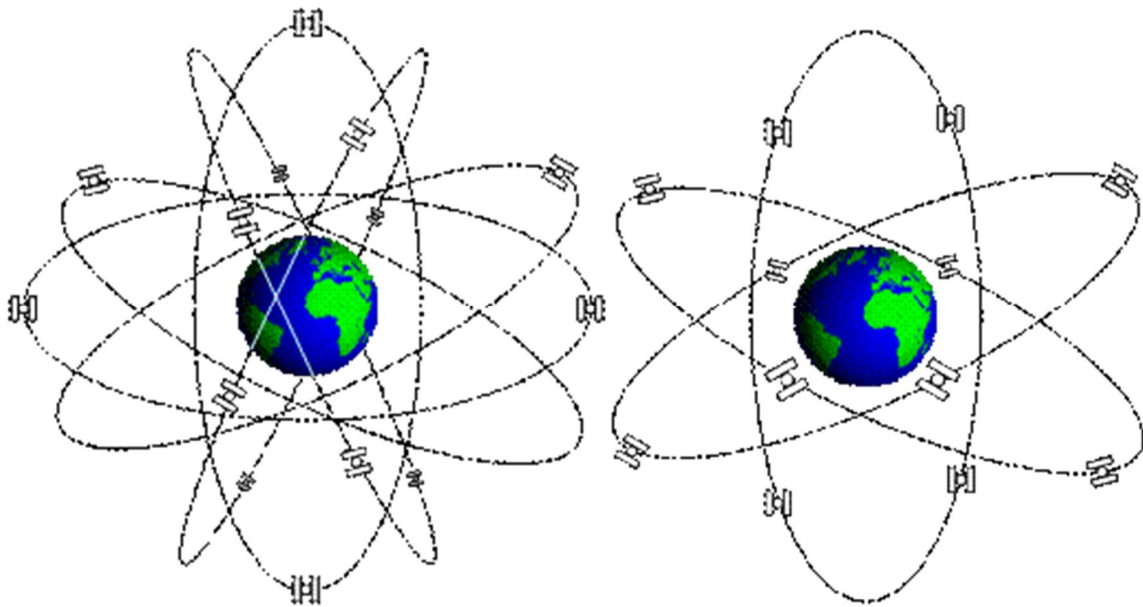


Рисунок 3.58 – Орбітальні сузір'я GPS (а) і ГЛОНАСС (б)

Для вимірювання відстаней передавачі на всіх супутниках випромінюють радіохвилі на двох частотах – L_1 і L_2 .

Різні частоти потрібні, щоб виключити з вимірювань істотні тимчасові затримки, що виникають при проходженні радіохвиль через іоносферу.

Апаратури користувача базується на супутниковому приймачі, який разом з передавачем на супутнику утворює радіодальномір. Приймач приймає радіохвилі, передані супутником і порівнює їх з електричними коливаннями, утвореними в самому приймачі. Унаслідок цього визначається умовний час поширення радіохвиль, а отже, й дальність від приймача до супутника. Дальність визначається двома способами: кодовим методом (стандартна точність) і фазовим методом (більш висока, «геодезійна» точність).

Крім того, від супутника в приймач користувача періодично (кожні дві години) передається так зване навігаційне повідомлення, що містить необхідну для визначення координат інформацію.

Сучасні приймачі орієнтовані на використання тільки однієї супутникової системи – GPS або ГЛОНАСС, але можуть бути й комбіновані, до того ж приблизно в два рази збільшується кількість доступних супутників, а отже, підвищується й точність визначення координат – приблизно в 1,5 рази (рис. 3.59).



Рисунок 3.59 – Сучасні приймачі :

а – навігаційний GPS-приймач Garmin Etrex Legend;

б – геодезичний GPS-приймач Trimble R8;

в – комбінований приймач GPS / ГЛОНАСС

Приймачі мають бути *кодovими* й *кодovо-фазовими*. Перші з них є дуже компактними (уміщаються на долоні) й поєднують в одному корпусі приймач, антену й джерело живлення. Такі приймачі зазвичай називають *навігаційними*, оскільки вони видають відносно неточні координати. Загалом ці приймачі досить дешеві, а тому доступні для масового застосування.

Фазово-кодові приймачі дають змогу досягати набагато більшої точності координат. Вони також є дуже компактними, але з окремою виносною антеною; здебільшого мають зовнішні акумулятори, окремі клавіатуру і дисплей. У разі, якщо фазово-кодові приймачі працюють в парі з другим приймачем у так званому диференційному режимі, можна досягти точності до 1–2 см.

Унаслідок деяких особливостей визначення координат приймачі глобальних систем позиціювання можуть вимірювати координати однієї точки досить довго. Що більше часу відводиться на знімання, то точніший результат. У навігаційних приймачах координати визначаються досить швидко (секунди), проте точність становить метри й навіть десятки метрів. У геодезійних приймачах час визначення координат може становити від 5 хв до 1 год. До того ж час і точність знімання обумовлюється кількістю доступних супутників.

Унаслідок значної величини часу точного знімання координат, глобальні системи позиціювання використовуються в топографо-геодезійних роботах не для суцільного знімання всіх об'єктів на місцевості, а тільки для встановлення координат невеликої кількості спеціальних точок, які обирають як альтернативу необхідним, але відсутнім пунктам державної геодезійної мережі.

Навігаційні ж приймачі можуть бути використані для масового знімання точок, оскільки час знімання у них незначений. Одним із різновидів застосування навігаційних приймачів є знімання осей автомобільних доріг для нанесення на дрібномасштабні карти. Одним з недоліків роботи GPS-приймачів у русі є зниження точності вимірювання й можлива тимчасова втрата видимості деяких супутників, наприклад під час проїзду автомобіля з GPS-приймачем через густий ліс, в низині або в тунелі. Для унеможливлення переривання знімання координат останнім часом GPS-приймачі починають комбінувати з так званими *інерційними навігаційними системами (ІНС)*, у які вбудовано гіроскопи й акселерометри, що дають змогу досить точно виміряти напрям і швидкість руху. Отже, в разі тимчасової втрати зв'язку із супутниками дані про переміщення отримують від ІНС.

3.10 Фото- й відеознімання

Останнім часом, у зв'язку з появою дешевих цифрових фото- й відеокамер та стрімким зростанням обсягів виготовлення жорстких дисків комп'ютерів, набула поширення технологія *візуального супроводу просторових об'єктів*.

Виокремимо кілька головних варіантів цієї технології:

1. *Окремі знімки місцевості*, зроблені звичайними фотоапаратами з якоїсь точки простору в одному напрямі. Такі знімки слугують звичайним інформаційним доповненням до атрибутів просторових об'єктів у базі даних.

2. *Панорамні знімки*, що дають змогу оглянути місцевість під час перебування у фіксованій точці простору, повертаючи кут зору по азимуту в будь-якому напрямі. Панорамні знімки роблять за допомогою спеціальних панорамних об'єктивів або за допомогою спеціальної обробки декількох знімків, зроблених у чотирьох (іноді більше) протилежних напрямках. У пам'яті комп'ютера такі знімки зберігаються у вигляді звичайних растрових зображень, значно витягнутих по горизонталі (рис. 3.60, а). При зміні користувачем азимута перегляду на екран виводиться тільки певна частина знімка (рис. 3.60, б).



а



б

Рисунок 3.60 – Панорамний знімок:
а – вихідний знімок; б – вікно перегляду знімка

3. *Знімки навколишнього середовища* дають змогу оглянути місцевість, перебуваючи у фіксованій точці простору й повертаючи кут зору в будь-якому напрямі – вліво-вправо і вгору-вниз. Такі знімки частіше використовуються здебільшого всередині приміщень, а також на місцевості, якщо поблизу є складні або високі об'єкти. Такі знімки зазвичай роблять за шістьма звичайними квадратними фотознімками, зробленими в трьох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 3.61). При виведенні зображення на екран програма одразу формує з цих шести знімків потрібну картинку, начебто

користувач дивиться в напрямку заданого азимута й вертикального кута. На сьогодні підтримка таких знімків (*кубічних карт середовища*) реалізована апаратно на рівні відеокарт і доступна через інтерфейси DirectX 8.x/9.x і OpenGL 1.x.



Рисунок 3.61 — Набір знімків навколишнього середовища (кубічна карта)

4. *Послідовності фотознімків*, зроблених уздовж деякої траєкторії, наприклад уздовж автомобільної дороги з рухомого автомобіля. Такі послідовності знімків зазвичай роблять через деяку фіксовану відстань на місцевості (наприклад через 10 або 30 м), а кожен знімок має чітку просторову прив'язку у вигляді абсолютних (x, y) або лінійних (*пікет, зміщення*) координат, одержуваних за допомогою СРБ-приймачів або іншим способом (рис. 3.62). Геоінформаційні системи, у які включено функції роботи з послідовностями фотознімків, зазвичай дають змогу виконувати навігацію за фотознімками, як за відеофільмом і одночасно показувати розташування точки знімання на місцевості; вказувати точку на карті, переводити її координати в лінійні й відображати відповідний фотознімок.

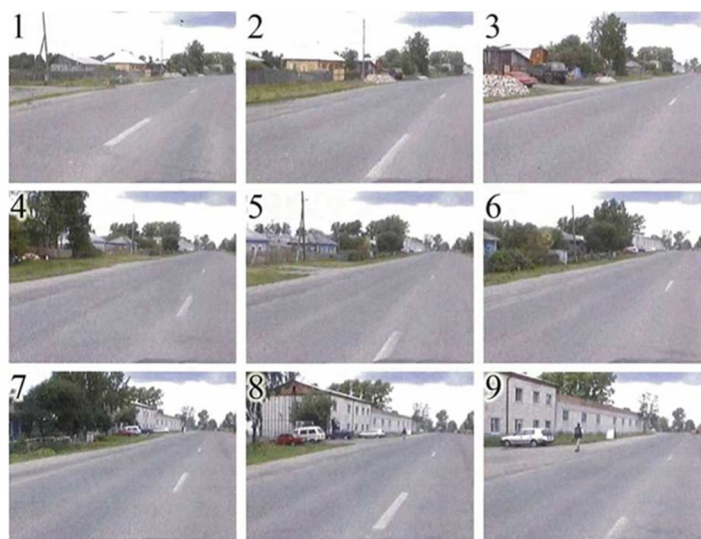


Рисунок 3.62 — Послідовність знімання автомобільної дороги

5. *Відеознімання за траєкторією*. Ця технологія загалом аналогічна до попередньої (послідовність фотознімків), тільки знімання виконується на цифрову відеокамеру формату МтШУ. Відеознімання забезпечує отримання більшої кількості окремих кадрів, ніж при фотозніманні, проте вони набагато гіршої якості. Низька якість спричиняється, по-перше, меншою роздільною здатністю зображення (тільки $720 \times 576 = 0,4$ МП в стандарті Мину, тоді як зараз широко доступні фотокамери з матрицями 2, 3, 4, 6, 8 мегапікселів і більше); по-друге – чергування розгортки, що перебуває в русі, по суті, зменшує вертикальну роздільну здатність зображення в два рази. З іншого боку, відеознімання, незважаючи на більшу загальну кількість кадрів, потребує меншого обсягу пам'яті для зберігання (унаслідок меншої роздільної здатності кадрів і особливості алгоритмів стиснення відеозображень).

6. *Ситуаційне відеознімання* використовується зазвичай для огляду невеликих ділянок місцевості. Такі відеоролики слугують інформаційним доповненням атрибутів просторових об'єктів у базі даних.

Технологія візуального супроводу просторових об'єктів слугує інформаційним доповненням до атрибутів просторових об'єктів у базі даних, а також за допомогою відеознімання дає можливість створювати дуже великі архіви відеоданих.

3.11 Формати даних

Більшість ГІС-додатків отримують просторові дані у вигляді вже готових наборів. У п. 3.5 були коротко охарактеризовано основні джерела просторових даних. Потрібно зазначити, що такі дані здебільшого створюються не в ГІС, а в деяких інших класах програм.

Приміром, растрові дані часто надходять в ГІС у вигляді готових файлів, одержаних з цифрових фотоапаратів, зі сканерів або з інших джерел. Більшість ДВС не володіє достатніми коштами для глибокого оброблення растрових зображень, а тому растри зазвичай обробляють в особливому класі програм для обробки ДДЗ (такі програми можуть бути растровими ГІС, хоча не обов'язково). Після відповідного оброблення растри надходять у ГІС.

Векторні дані створюють також в інших програмах. Наприклад, дані геодезійних пошуків зазвичай обробляються поза ГІС, у спеціалізованих програмах. Векторизація растрових даних в на сьогодні найкращіше виконується в спеціалізованих програмах – *векторізатор*.

Крім того, багато великомасштабних карт створюються в програмах класу САПР. Справа в тому, що моделі даних в САПР набагато новіші,

порівняно з ГІС (ця різниця помітна саме в великому масштабі); крім того, САПР надають дієвіші інструменти для введення і редагування геометричних даних, а також вони більшу розповсюджені, ніж ГІС.

Із огляду на зазначене для будь-якої ГІС є дуже важливим імпорт просторових даних, створених в інших програмах, а також експорт даних в інші програми.

Усі формати, які використовуються в ГІС, можна розподілити на *внутрішні й обмінні*. Внутрішні формати даних зазвичай мають закриту структуру, тому інші додатки, не можуть їх читати й створювати.

Імпорт даних в ГІС виконується за допомогою файлів в обмінних форматах. Ці файли створюються в інших програмах, а в ГІС імпортуються й за необхідності перетворюються на внутрішній формат ГІС.

Розглянемо базові векторні формати файлів, які використовуються в ГІС для роботи і обміну даними з іншими додатками:

1. *Шейп-файли*. Ці файли є стандартним обмінним форматом для подання векторних нетопологічних даних від фірми ESRI, Inc (виробник ArcGIS, ArcView, ARC/INFO). У цьому файлі можна надавати точки, мультиточки, лінії або полігони, при цьому в одному файлі змішувати фігури різного типу заборонено. Усі фігури можуть співвідноситися з координатами у двівимірному (X, Y), тривимірному (X, Y, міра M) і чотиривимірному (X, Y, Z, міра M) просторі.

У шейп-файлах для фігур можна задати атрибути, до того ж усі фігури будуть мати однаковий набір атрибутів. Допустимими атрибутами в числові, логічні, дати та рядки.

Кожен шейп-файл зберігається у вигляді трьох обов'язкових файлів: з розширенням .SHP — для подання геометрії, з розширенням .DBF для подання атрибутики (цей файл зберігається у форматі dBase III), з розширенням .

SHX – для подання допоміжних індексів.

У наш час формат шейп-файлів підтримується більшістю виробників ГІС як обмінний, а іноді навіть як базовий (внутрішній) формат.

2. *Покриття ARC/INFO*. Цей формат є стандартним для подання векторних топологічних даних (покрив) від фірми ESRI. Формат підтримується деякими іншими компаніями, але він не дуже розповсюджений, тому що закритий.

Недоліком цього формату є те, що він складається з безлічі файлів, які містяться в окремому каталозі. Це не дуже зручно при копіюванні, архівуванні тощо.

3. *Обмінний формат покриття ARC/INFO* (файли з розширенням .E00). Формат є відкритим обмінним еквівалентом файла покриття. Він складається

тільки з одного файлу, що досить зручно. Формат є текстовим, унаслідок чого розмір файла .E00 набагато більший порівняно зі звичайним покриттям ARC/INFO.

4. *Обмінний формат MapInfo* (файли з розширенням .MIF). Цей формат є стандартним форматом обміну векторними нетопологічними даними від фірми MapInfo, Inc (США). Формат підтримується більшістю сучасних ГІС.

5. *Формати FIM і SXF*. Ці формати є російським винаходом для подання електронних карт, а тому підтримуються тільки деякими російськими ГІС. Формат FIM є стандартом Роскартографії, а SXF – стандартом Військово-топографічної служби.

6. *Формат DWG*. Цей формат є стандартним форматом для подання креслень у системі автоматизованого проектування AutoCAD від фірми Autodesk, Inc (США). У ГІС цей формат зазвичай використовується тільки в режимі читання, щоб завантажити креслення й покласти його на карту як шар. Якщо ГІС передбачає виконання просторового аналізу об'єктів креслення DGN, то з креслення можна прочитати тільки точки, лінії й полігони. Цей формат менш поширений, порівняно з DWG, проте підтримується багатьма закордонними ГІС.

9. *Формат EMF* (Enhanced Windows Metafile). Він використовується в ГІС тільки для того щоб передати графічне зображення шару або всієї карти в інші програми.

10. *Стандартні растрові файли* (із розширеннями .BMP, JPG, .PCX, .TIF, .GIF, .PNG тощо). Ці формати є звичайними для зберігання растрових зображень у середовищі Windows. Особливістю застосування растрів у геоінформаційних системах є те, що на карті растри мають *геоприв'язку*, що вказує на те, якому місцю географічного простору відповідає растр. Оскільки така інформація відсутня в звичайних растрових форматах, її доводиться вводити вручну при завантаженні растру в ГІС. Ще одним недоліком типових растрових форматів є те, що вони мало придатні (дуже повільні) для роботи з великими растрами, типовими для ГІС, а також те, що вони не дають змоги працювати з багатозональними даними дистанційного зондування.

11. *Формат ERDAS Imagine* (файли з розширенням .IMG). У цьому форматі можна зберігати растрові дані з будь-якою кількістю шарів одночасно та параметрами геоприв'язки. За необхідності в цьому файлі зберігається додаткова пірамідальна структура, що дає змогу дуже швидко переглянути дані в будь-якому масштабі незалежно від реального (навіть дуже великого) розміру файлу.

12. *Формат GeoTIFF*. Цей формат є продовженням широко розповсюдженого реєстрового формату TIFF. Формат GeoTIFF доповнює растр

параметрами геоприв'язки. Недоліком цього формату (як і його попередника TIFF) є невеликий ступінь стиснення даних, що унеможлиблює ефективну роботу з растрами великих розмірів.

13. *Формати Mr.SID і ECW.* Ці формати були створені для роботи з великими за розмірами растрами в середовищі ГІС. Формати відрізняються вищим рівнем стиснення (використовується метод вейвлет-стиснення) порівняно з іншими поширеними форматами даних. Крім того, дані у файлах Mr.SID і ECW організовані так, що з файлу можна дуже швидко витягнути будь-який фрагмент растру, із будь-якою необхідною роздільною здатністю.

4 РОБОТА З КАРТАМИ В ГІС

4.1 ГІС-проекти

Базовим поняттям у картографії є *карта* – графічне зображення просторових об'єктів. Аналогічно в геоінформаційних системах під терміном «карта» (*електронна карта*) розуміють сукупність даних, що унеможливають відображення просторових об'єктів на екрані комп'ютера, а також дають змогу редагувати й аналізувати ці дані.

Електронна карта складається із упорядкованої сукупності *графічних шарів* карти, які послідовно відображаються на екрані комп'ютера (рис. 4.1). За необхідності деякі шари карти можуть бути тимчасово вимкнені, щоб не заважати перегляду інших.

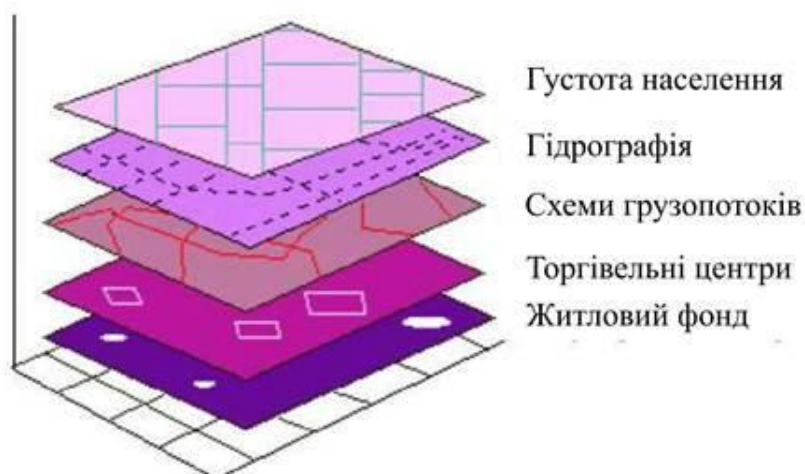


Рисунок 4.1 — Шари карти

У геоінформації просторові дані відокремлені від способу їхнього відображення, тому кожен шар карти містить певний набір просторових даних, а також параметри їхньої інтерпретації та відображення на карті. Кожному

набору даних може бути призначено один або більше *візуалізаторів* просторових даних, що відображають дані на карті.

Ще одне поняття, яке зазвичай використовується в геоінформаційних системах, це поняття *ГІС-проекту*. У деяких геоінформаційних системах (ArcGIS, MapInfo) поняття *проект* співпадає з поняттям *карти*, в інших системах (ArcView GIS, IndorGIS) проекти можуть включати декілька карт, логічно поєднаних одна з одною.

У системі ГІС-проекту проект може включати будь-яку кількість карт, растрових зображень, текстових файлів та інших файлів, до того ж усі вони в разі необхідності можуть бути згруповані за теками.

4.2 Навігація за картою

Однією з найбільших переваг електронних карт в ГІС щодо паперових аналогів є зручність перегляду карти. ГІС дає змогу побачити будь-який фрагмент карти в будь-якому необхідному масштабі.

Обирати необхідний фрагмент карти і масштаб його відображення в ГІС можна інтерактивно або за допомогою команд пошуку об'єктів і фрагментів карти. Інтерактивний вибір видимого фрагмента карти виконується за допомогою одного з наступних режимів роботи:

- 1) режим збільшення зображення (див. п. 1.3);
- 2) режим зменшення зображення (див. п. 1.3);
- 3) різкепанорамування (див. п. 1.3).

Режим динамічного масштабування. У цьому режимі користувач натискає кнопку мишки в деякій точці на карті і, утримуючи її, переміщує мишку вгору, при цьому масштаб зображення збільшується; у разі переміщення мишки вниз масштаб буде зменшуватися.

Зазначені режими навігації по карті передбачають використання тільки однієї лівої кнопки мишки. Якщо ж мишка має додаткове колесо прокручування, то за його допомогою можна швидко змінювати масштаб зображення, прокручуючи колесо вперед або назад. Перевагою цього способу є те, що використання колеса не потребує перемикання в спеціальний режим навігації по карті, а може використовуватися додатково до будь-якого іншого режиму.

Розглянемо команди пошуку об'єктів і фрагментів карт:

1. *Пошук за атрибутами*. Ця команда дає змогу знаходити об'єкти, що мають задані значення атрибутів. До того ж у ГІС можна задати як певний

пошук значення, так і деяку умову щодо атрибутів. Наприклад, можна знайти всі міста на карті світу, що мають населення понад 10 млн осіб.

2. *Адресний пошук.* Дана команда уможливує знаходження об'єктів за адресою. Під адресою зазвичай розуміють назву вулиці й номер будинку, проте аналогічно можна знайти і будь-які інші об'єкти, що мають назви (не обов'язково в місті). Для виконання пошуку за адресою спочатку необхідно створити *геокод* – набір правил, за якими адреса буде перетворюватися на просторові координати. Після цього в ГІС стають доступними команди виконання адресного пошуку (рис. 4.3). При цьому достатньо ввести назву вулиці та номер будинку, щоб ГІС показав на карті знайдений об'єкт. Ще одним варіантом пошуку є задання двох вулиць, що перетинаються, при цьому ГІС знайде розташування відповідного перехрестя. Весь процес перекладу тестового опису адреси в координати на карті називається *геокодуванням*.

Геокод може бути декількох видів:

- одне ім'я;
- вулиця та номер будинку;
- вулиця та будинки по різні боки.

Пошук певного будинку в такому геокоді виконується в кілька кроків: знаходяться вуличні сегменти з заданою назвою вулиці; визначається парність номера розшукуваного будинку; серед знайдених сегментів вулиці виконується пошук сегмента, у якого номер будинку міститься всередині діапазону номерів будинків по парному або непарному боку; якщо шуканий сегмент знайдений, то виконується інтерполяція розташування будинку щодо вулиці за номерами будинків на кінцях вуличного сегмента й номера шуканого будинку.

3. *Вибір аркуша карти.* Ця команда дає змогу знаходити необхідний фрагмент на карті (аркуші) за його номером в деякому лініюванні. Окремі ГІС дають змогу створити довільне лініювання з нумерацією аркушів карти за стовпцями і рядками (наприклад ArcGIS). В інших системах використовуються системи лініювання загальноприйняті в Україні або світі. Наприклад, в системі IndorGIS користувач може ввести номер 159-A-7 і система покаже на екрані відповідний аркуш топографічного плану масштабу 1 : 500.

4. *Вибір закладок.* У наш час багато ГІС забезпечують створення так званих «закладок». При цьому ГІС запам'ятовує координати центру поточного видимого фрагмента карти і поточний масштаб зображення, а надалі ГІС уможливує швидке повернення до раніше запом'ятованих фрагментів карти.

Ще одним зручним способом навігації по карті в ГІС є *використання ескізу*, у якому відображається вся карта і прямокутником показується область, видима в головному вікні. У вікні огляду можна мишкою вказати прямокутну область карти, яка одразу ж буде відображена в головному вікні карти.

4.3 Отримання інформації за об'єктами

Головна відмінність електронної карти в ГІС від паперової полягає в тому, що в ГІС зберігається не просто статичне зображення карти, а повноцінна модель місцевості. Саме тому важливою функцією ГІС є отримання детальної інформації за об'єктами, що є на карті. Надана за об'єктами інформація в ГІС розподіляється на *атрибутивну*, *геометричну* й *топологічну*.

Для отримання *атрибутивної* інформації, наприклад у *геоінформаційній* системі ArcGIS 8.x, потрібно перейти в режим вибору інформації за об'єктами і вказати мишкою на карті необхідний об'єкт. У вікні будуть показані всі атрибути вибраного об'єкту.

До *топологічної* інформації щодо заданих об'єктів у ГІС належать відомості про такі об'єкти: суміжні з певним об'єктом; віддалені від певного об'єкта на певну відстань; що перебувають від певного об'єкта в зазначеному напрямку; містяться всередині певного об'єкта; покривають певний об'єкт; оточують певний об'єкт; перетинаються з певним об'єктом; збігаються з певним об'єктом.

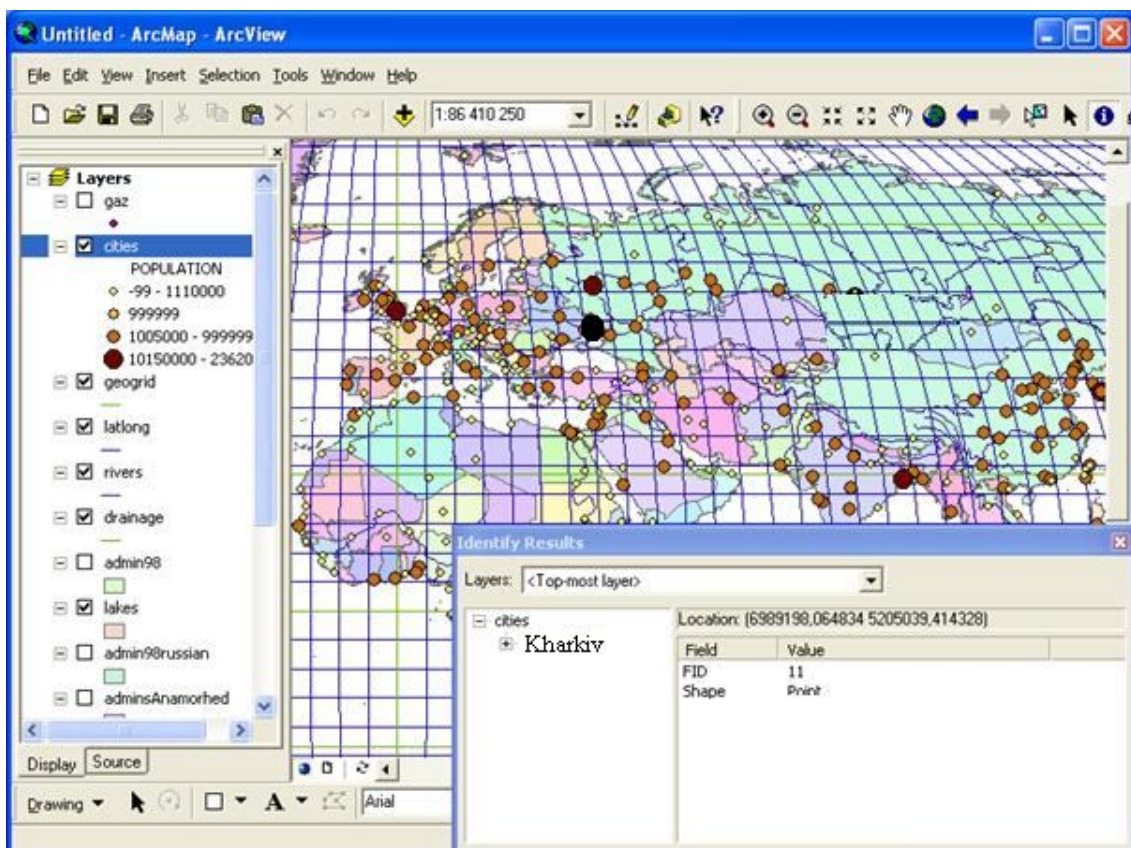


Рисунок 4.2 — Отримання детальної атрибутивної інформації за об'єктами на прикладі ГІС ArcGIS

Ще однією відмінністю електронних карт від паперових аналогів є наявність в ГІС розвинених функцій пошуку просторових об'єктів на карті

відповідно за деякими умовами, що накладаються на їхні атрибути. Зазвичай це виглядає як написання деякого запиту на спеціальній спрощеній версії мови SQL. На рисунку 4.3 подано приклад запиту, заданого в середовищі ArcGIS.

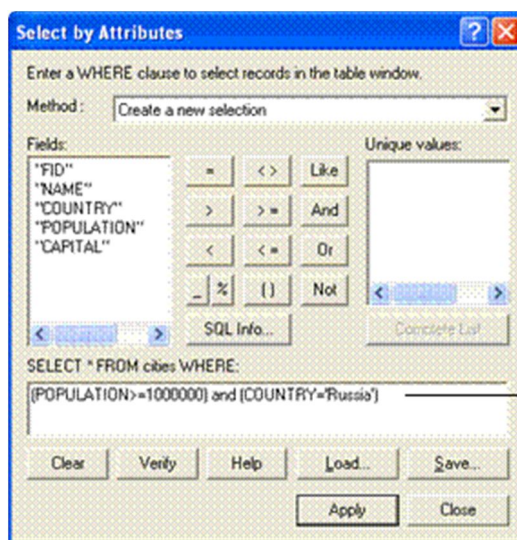


Рисунок 4.3 – Пошук об’єктів у таблицях за допомогою SQL-запитів

Цей запит знаходить всі міста на карті світу, які мають населення не менше 1 млн осіб і розміщені в Україні. Результати відображаються в таблиці і на карті.

4.4 Гарячий зв’язок

Гарячий зв’язок призначений для поєднання деяких об’єктів на карті з деякими іншими об’єктами, наприклад: іншими картами, проектами, растровими зображеннями і тощо. При виборі в ГІС режиму гарячого зв’язку клацанням мишкою по об’єктах на екран, наприклад виводиться деяке зображення, яке асоціюється з обраним об’єктом.

При застосуванні функції гарячого зв’язку у вибраного на карті об’єкта обирається значення атрибута, який використовується для встановлення гарячого зв’язку. Потім це значення передається для процедури виконання гарячого зв’язку певного різновиду. У геоінформаційних системах здебільшого використовуються такі різновиди гарячого зв’язку:

1. *Перегляд реєстрового файлу.* У такому разі з атрибута гарячого зв’язку обирається ім’я файлу із зображенням, яке подається на екрані.
2. *Перегляд карти або проекту.* Цей різновид дозволяє перейти до карти (або проекту), зазначеного в атрибуті гарячого зв’язку.

3. *Відкриття файлу*. За допомогою програми відкриває файл, указаний в атрибуті гарячого зв'язку, встановленого за замовчуванням у Windows для такого типу файлів.

4. *Запуск програми Windows*. Запускає виконуваний файл Windows, зазначений в атрибуті гарячого зв'язку.

5. *Запуск програми з передачею параметрів*. Запускає фіксований файл Windows з параметрами, зазначеними в атрибуті гарячого зв'язку.

6. *Виклик у браузері сторінки Інтернету*. Цей різновид гарячого зв'язку уможлиблює встановлення посилання на довільні адреси в Інтернеті. При виконанні зв'язку, ГІС запускає встановлений в операційній системі інтернет-браузер, за допомогою якого аргумент передається, як вказана в атрибуті адреса в форматі URL.

7. *Виконання процедури (макросу)*. Запускає деяку процедуру (макрос) з параметрами, зазначеними в атрибуті гарячого зв'язку. Цей різновид гарячого зв'язку використовується в ГІС із вбудованою можливістю написання процедур (макросів) на деякій мові програмування. На сьогодні в ГІС здебільшого використовується мова Visual Basic for Applications.

4.5 Відеоряди

Відеоряди – це послідовність фотознімків, зроблених на певній відстані уздовж деякої траєкторії (див. п. 3.10). У ГІС відеоряди прив'язують до деяких лінійних і векторних об'єктів.

Для створення відеорядів фотокамера (зазвичай із досить простою Web-камерою) встановлюється на автомобілі. Фотокамера з'єднується з портативним комп'ютером. Під час руху автомобіля комп'ютер періодично отримує з фотокамери знімки, зберігає їх, а також фіксує розміщення автомобіля під час знімання.

У разі створення відеорядів кожен фотознімок координатно прив'язують до карти. Для цього можна використати GPS-приймачі, з'єднані з комп'ютером, або прилади, за допомогою яких вимірюють поточне пікетажне розміщення автомобіля й передають на комп'ютер дані.

У наш час різні фірми пропонують свої рішення для створення й перегляду відеорядів. Наприклад, ТОВ ИДЦ «Індор» спільно з ТОВ «ІНДОРСОФТ» (Томськ) розробляють програмно-апаратний комплекс ІРА-3М, який складається з портативного комп'ютера, Web-камери, вимірювача пікетажного розміщення автомобіля і спеціалізованого програмного забезпечення (рис. 4.4). Цей комплекс зберігає отримані фотознімки в спеціальному форматі, які потім прив'язуються до доріг в ГІС IndorGIS.



Рисунок 4.4 — Програмно-апаратний комплекс для створення відеорядів ІРЛ-ЗМ

Для роботи з відеорядами передбачено спеціальний режим роботи з картою. У цьому режимі можна виокремити деяку лінію (вісь дороги) на карті й прив'язати до цієї лінії відеоряд, вказавши ім'я файлу відеоряду й параметри пікетажної прив'язки відеоряду. Після прив'язування відеорядів можна просто вказати точку на лінії, а ГІС в окремому вікні покаже відповідний фотознімок із автомобіля. Переміщення курсору по карті в ГІС буде автоматично змінювати кадри у вікні перегляду відеоряду.

4.6 Публікація карт

У середовищі ГІС є багато можливостей для перегляду електронних карт. Проте існує об'єктивна потреба щодо отримання «твердих копій карт» (у паперовому вигляді), а також перегляду карт в інших програмних продуктах, а не тільки в ГІС.

Крім самої ГІС, у якій створено карту, для її перегляду можуть використовуватися такі програмні продукти:

1. *ГІС-переглядач (ГІС-переглядачі)* — програми, які виконують тільки функції перегляду карт і отримання елементарної інформації щодо об'єктів на карті. Такі прості ГІС-переглядачі випускають практично всі головні виробники ГІС, і вони зазвичай поширюються безкоштовно.

2. *Системи автоматизованого проектування (САПР)* транспортного, промислового й цивільного будівництва. Використовувані в таких

САПР — моделях даних істотно відрізняються від прийнятих в ГІС, тому електронні карти зазвичай використовуються тільки як інформаційна підкладка, поверх якої проектуються різні об'єкти.

Щоб передати дані з ГІС в САПР, необхідно дані з ГІС необхідно експортувати в певний формат, який читається в САПР.

3. *Векторні графічні програми (векторні редактори)* типу Adobe Illustrator і Corel Draw. Такі програми зазвичай використовуються для остаточного формування карт перед друком, оскільки саме векторні редактори мають великий набір функцій, що уможливають оброблення зображення.

4. *Спеціалізовані програми*, що не націлені на завдання державної виконавчої служби, але в які програмістами за допомогою набору ГІС-компонентів вбудовано додаткові геоінформаційні функції.

5. *Інтернет-браузери*, які використовуються для перегляду карт, опублікованих в Інтернеті. Зі свого боку, для публікації карт в Інтернеті використовуються різні геоінформаційні Інтернет-сервери, наприклад ArcIMS (Internet Map Server) виробництва ESRI, Inc, США.

Крім того, карти можуть бути експортовані в один із поширених універсальних растрових або векторних форматів, наприклад у BMP, GIF, JPEG, TIFF або в метафайл Windows (EMF). Після цього зображення може бути переглянуто за допомогою будь-яких доступних на комп'ютері додатків або через Інтернет.

Тепер розглянемо питання щодо друку карт безпосередньо з ГІС. Необхідно визначити головну відмінність карт в ГІС на екрані комп'ютера і паперових аналогів. Зображення карти в ГІС є відображенням точної математичної моделі просторових об'єктів на місцевості. Водночас під час складання класичних паперових карт доводиться відступати від дотримання точних геометричних характеристик об'єктів, щоб подати наочніше сутність карти, а використовувати її було зручніше.

Процес підготування карти до друку складається з таких етапів:

А. *Вибір різновиду компоновання карти.* На цьому етапі потрібно відповісти на такі питання:

1. Яка частина поверхні Землі буде зображена на карті?
2. На скільки аркушів буде поділена карта при друкуванні?
3. Які виносні фрагменти і врізки будуть представлені на кожному аркуші карти?
4. Які проекції будуть використані під час друкування різних аркушів карти і виносних фрагментів?

5. Який тип оформлення буде використано для всіх аркушів карти?

На рисунку 4.5 зображено типову карту з чотирма врізками, дві з яких є фрагментами інших карт, а на двох інших подані легенда, масштабна лінійка, а також довідкова інформація.

Б. *Підготування картографічної основи.* На цьому етапі необхідно визначити, які шари просторових даних будуть відображені на різних аркушах створеної карти, а також виконати необхідну геометричну корекцію даних з урахуванням масштабу друку й призначення карти. При цьому використовуються такі геометричні прийоми:

1. *Генералізація* – заміна маленьких майданних об'єктів лінійними або точковими, наприклад, контур річки зазвичай замінюється її віссю, а межі міста – точкою; заміна безлічі точкових об'єктів одним майданним, наприклад безліч окремих дерев можна замінити полігоном.

2. *Розвантаження карти* – видалення секретних і малозначущих об'єктів, наприклад малонаселених пунктів.

3. *Геометричне редагування* – внесення в деякі місця невеликих геометричних спотворень даних для забезпечення кращого зорового сприйняття карти. Наприклад, на дрібномасштабній карті два розташовані близько міста потрібно видалити не одне від одного, оскільки вони можуть злитися при друці.

3. *Вибір способів відображення просторових даних.* На цьому етапі потрібно визначити, якими умовними знаками потрібно позначати точкові, лінійні й майданні об'єкти (детально різні способи відображення даних розглянуто в наступному розділі).

На цьому ж етапі потрібно розмістити підписи об'єктів на карті. Підписи всіх об'єктів зазвичай спочатку розміщують автоматично, а потім вручну виправляти недоліки. Деякі написи при цьому можуть бути видалені, щоб не затуляли інші, значущі.

4. *Підготовка оригінал-макетів аркушів карти.* На цьому етапі все зображення електронної карти розбивають на окремі аркуші, для кожного аркуша задається деяка рамка і наносяться додаткові елементи внутрішнього й позарамкового оформлення карти, такі як легенда карти, стрілки напрям на північ, масштабні лінійки, додаткові текстові написи тощо. За необхідності на аркуші можна розмістити додаткові фрагменти цієї або іншої карти.

Друкування аркушів карти. На цьому етапі здійснюється друкування аркушів карти на принтері. У наш час більшість ГІС працює у Windows, яка забезпечує вирішення всіх проблем щодо взаємодії з принтерами і плоттерами. Користувач тільки вибирає принтер або плоттер, на який буде виконуватися друкування, вказує параметри друку й скеровує карту на друк.



Рисунок 4.5 – Типова карта України

В деякі ГІС вбудовані додаткові функції для управління процесом друкування. Однією з таких функцій є можливість друкування великих карт на маленьких принтерах. Наприклад, якщо потрібно надрукувати карту розміром 1^x1 м, але немає необхідного для цього широкоформатного принтера, то можна використати і звичайний принтер формату А 4, вказавши в ГІС, що при друкуванні карту потрібно поділити на аркуші.

Функціями друкування в ГІС є також растеризація зображення перед друкуванням (що інколи прискорює процес друкування), управління кольорами, управління способом друкування текстових написів тощо.

У наш час в ГІС використовуються три головні підходи підготування карт до друку.

Підхід 1. У ГІС готується картографічна база, яка потім передається в іншу програму – універсальний (типу Corel Draw Або Adobe Illustrator) або спеціалізований векторний редактор для подальшого оброблення та підготовки карти до друку. Цей підхід дає змогу створювати найякісніші з погляду дизайну карти, але він трудомісткий. Простішим і наочнішим є другий підхід, а особливо, третій.

Підхід 2. Карта готується до друку в ГІС для оформлення розширення використовуються методи візуалізації просторових даних, а також додаткових шарів карти з можливістю створення картографічних рамок і малювання різноманітних фігур.

Такий підхід використовується, наприклад, в ГІС IndorGIS. Ця система забезпечує накладання поверх картографічної основи спеціальних шарів

оформлення, які містять картографічну або топографічну рамку, а також різноманітні фігури для внутрішньорамкового й позарамкового оформлення.

У шар оформлення можуть бути включені такі дані: легенда карти, стрілки напрямом на північ, масштабні лінійки, а також фрагменти цієї або іншої карти. Для задання нестандартного оформлення можна використовувати різноманітні типи ліній, багатокутників, прямокутників, кіл, дуг, сплайнів і точкових символів.

Якщо потрібно поверх карти розмістити якісь таблиці, графіки або інші складні зображення, то можна скористатися функцією переміщення на карту довільного OLE-документа. Наприклад, так можна розмістити фрагмент текстового документа Microsoft Word, електронну таблицю, графік або діаграму Microsoft Excel.

Підхід 3. Для підготовки карт до друку в ГІС вводять нове поняття – *макет карти*. Макет – це спосіб розташування різних друкованих елементів карти на аркуші паперу. На макет можна розмістити фрагменти різних карт, легенду, масштабні лінійки, стрілки напрямку на північ, додаткові текстові написи тощо.

Нині цей підхід найповніше реалізований в геоінформаційній системі ArcGIS (рис. 4.6), а також в деяких інших програмах ГІС.

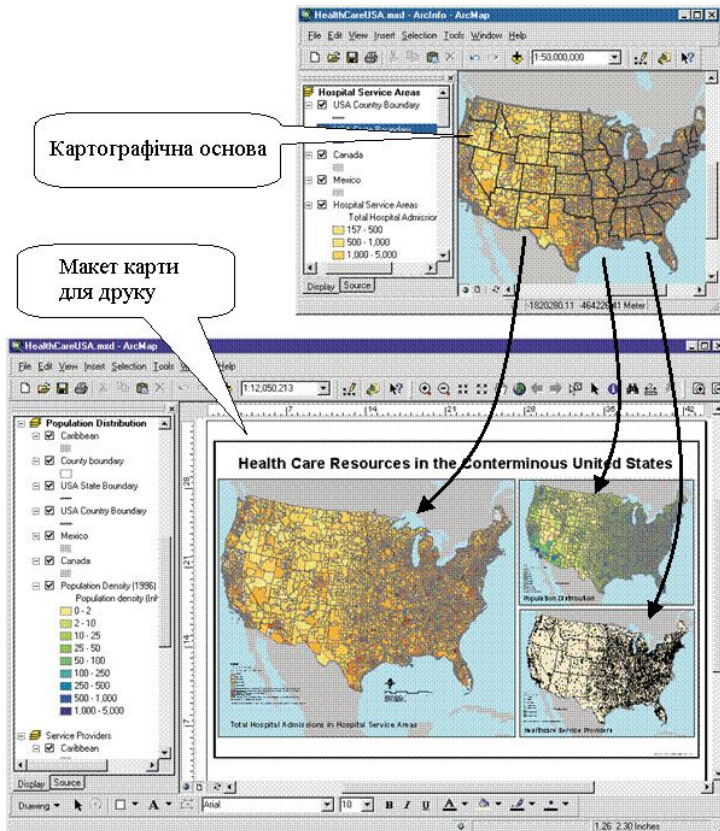


Рисунок 4.6 – Підготовка макета карти для друку в ГІС ArcGIS

5 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

5.1 Тематичні карти

Однією з найбільших переваг геоінформаційних систем є те, що вони дають змогу людині наочно уявити інформацію про територіально розподілені об'єкти і явища.

За відсутності карт потрібно довго вивчати різноманітні таблиці, графіки, текстові дані, тоді як ознайомлення із даними карти робить цей процес одномоментним. Саме тому в картографії застосовується термін «*тематичні карти*», який характеризує карти, створені для демонстрації будь-яких явищ або об'єктів. Створення геоінформаційних систем прискорило подальший процес розроблення тематичних карт, унаслідок чого було знайдено нові образотворчі інструменти й методики. Потрібно зауважити, що використання ГІС пришвидшує процес створення нової тематичної карти .

Особливістю геоінформаційних систем є те, що дані в них (*геометрія і атрибутика*) і їхній зміст (*семантика*) роз'єднані. Щоб відобразити просторові дані на карті, необхідно обрати для них деякі візуалізатори – набори правил відображення даних на карті. У деяких ГІС візуалізатори просторових даних називаються також символікою відображення даних.

Для різних моделей даних існують різні види візуалізаторів, використовуючи які, можна створювати різноманітні *тематичні карти*.

5.2 Умовні знаки

Базовим елементом усіх картографічних зображень є умовні знаки, за допомогою яких просторові об'єкти зображуються на карті.

Умовні знаки визначають спосіб відображення певного об'єкта на карті. Зазначимо також, що візуалізатори набору просторових даних задають правила, за якими із цього набору даних буде обрано умовні знаки для окремих об'єктів.

У картографії виокремлюють три базові типи умовних знаків — *точкові, лінійні і майданні*.

Точковими умовними знаками (рис. 5.1) на карті зображують об'єкти або явища, розміри яких стосовно масштабу карти надзвичайно малі (зазвичай менше 1 мм). До того ж розмір умовного знака обирається не пропорційно до розміру зображуваного об'єкта, а так, щоб він був оптимальним для сприйняття людиною.

Кожен точковий умовний знак характеризується координатами розміщення на карті, типом, розміром, кутом повороту й кольором.

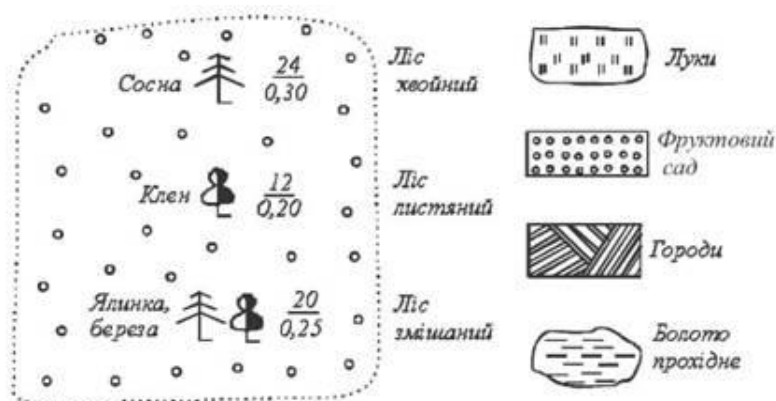


Рисунок 5.1 – Деякі стандартні точкові умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт в Україні

Лінійними умовними знаками (рис. 5.2) на карті зображають об'єкти або явища, протяжні в масштабі карти, але які незначні за шириною (зазвичай менше 1 мм).

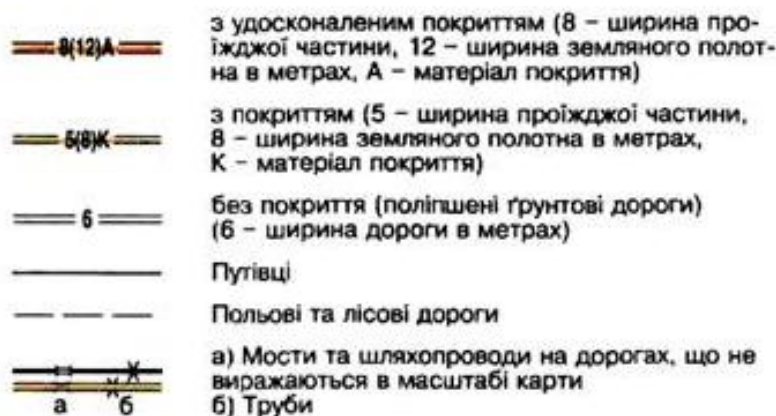


Рисунок 5.2 – Деякі стандартні, лінійні, умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт в Україні

Кожен лінійний умовний знак на карті повторює деяку лінію (ламану або криву), додатково характеризуючись типом знака, товщиною і кольором.

Лінійні умовні знаки в деяких випадках можуть включати якості складників точкових умовних знаків, які розміщуються вздовж лінії через певний проміжок або в особливих характерних точках, зокрема у вузлах вони відображаються ламаною. До того ж точкові умовні знаки можуть повертатися разом із лінією або бути зорієнтовані однаково.

Майданними умовними знаками (рис. 5.3) на карті зображують «регулярні» об'єкти або явища, протяжні в масштабі карти, які можна зобразити за допомогою точкових або лінійних умовних знаків. Термін «регулярні» означає, що зовнішній вигляд майданного умовного знака не залежить від порядку задання точок у контурі об'єкта. Умовні знаки, які не є «регулярними», зазвичай вважають спеціальними умовними знаками – особливим підвидом майданних знаків (рис. 5.3).

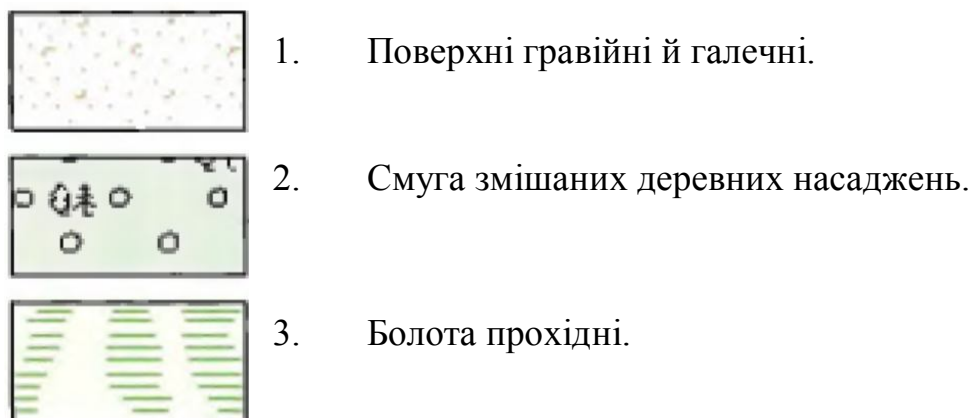


Рисунок 5.3 – Деякі стандартні майданні умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт в Україні

Спеціальними умовними знаками (рис. 5.4) на карті зображують такі об'єкти/явища, які не вдається зобразити за допомогою звичайних майданних умовних знаків.

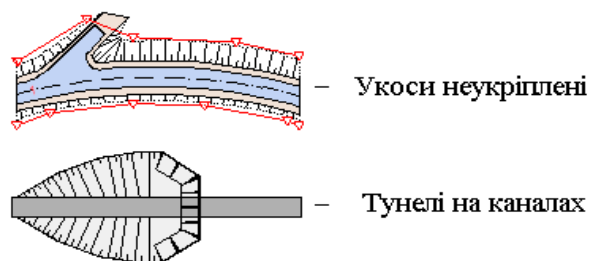


Рисунок 5.4 – Деякі стандартні спеціальні умовні знаки, що застосовуються для складання топографічних карт

Крім точкових, лінійних, площинних, у геоінформатиці до категорії умовних знаків іноді також відносять текстові умовні знаки (рис. 5.5), які включають опис способу подання текстових написів на карті.

Текст Текст Текст Текст Текст
Текст Текст Текст Текст Текст
Текст Текст Текст Текст Текст

Рисунок 5.5 — Деякі текстові умовні знаки, що застосовуються для складання карт

Кожен текстовий умовний знак характеризується текстом напису, а також типом, розміром і кольором шрифту, який використовується для відображення написів. Крім того, текстовий умовний знак може характеризуватися кутом нахилу, або лінією, уздовж якої потрібно розмістити напис.

На рисунку 5.6 подано фрагмент типової топографічної карти, що демонструє застосування різних умовних знаків.

Особливістю умовних знаків, використовуваних у традиційній картографії, є те, що їх вибір і розміщення на карті недостатньо формалізовані, багато залежить від індивідуальних уподобань і досвіду картографа. Саме тому, а також через технічну складність можливості програмування багатьох поширених ГІС щодо відображення умовних знаків обмежені, що унеможливорює створення карт відповідно до наявних стандартів складання картографічних матеріалів.

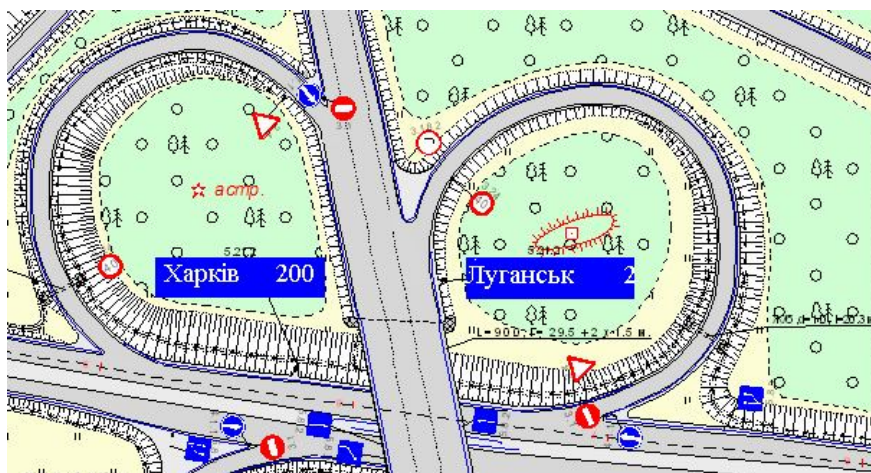


Рисунок 5.6 – Фрагмент топографічної карти, що демонструє застосування різних умовних знаків

Для створення умовних знаків у геоінформаційних системах використовується декілька способів.

Точкові умовні знаки проставляють за допомогою таких способів:

1. Прості стандартні фігури і коло, квадрати, ромби, трикутники, перехрестя. Цей спосіб дає змогу швидко відображати точкові об'єкти на екрані і, незважаючи на те, що він не відповідає нормам складання карт, його використовують у більшості ГІС.

2. Стандартні стрілки. Цей спосіб використовується для відображення точкових подій і об'єктів, що мають певну орієнтацію в просторі. Для стрілок задаються тип, розмір, довжина й кут повороту. Цей спосіб застосовують у багатьох ГІС.

3. Растрові зображення. Такі умовні знаки задаються у вигляді прямокутного растру, при цьому деякі пікселі позначаються як прозорі. Перевагою цього способу є простота проставлення умовних знаків. Недоліками можна вважати піксельність зображення, помітне при збільшенні карти (цього можна уникнути, тільки істотно збільшивши розмір растру), технічні складнощі плавного масштабування і повороту растрів, а також відображення прозорих частин растру, незначну швидкість виведення растрів порівняно з висновком векторних рисунків. Проте останнім часом унаслідок розвитку програмно-апаратних технологій роботи з растрами ці недоліки майже нівелювалися. Цей спосіб реалізований в багатьох ГІС.

4. Символи шрифтів Windows (OpenType, TrueType, Type 1). Такі умовні знаки складаються з декількох символів шрифтів, послідовно накладених один на один, і кожен із яких має свій індивідуальний розмір, колір, кут повороту і зміщення щодо інших символів. Головними перевагами є висока швидкість виведення та якість одержуваних умовних знаків на екрані комп'ютера, оскільки зображення символів на екрані здійснюється стандартними засобами Windows, що забезпечують згладжування сходових ефектів символів. Недоліком методу є складність створення умовних знаків для звичайних користувачів ГІС, оскільки для цього потрібно формувати нові символи шрифтів Windows за допомогою спеціальних програм редагування шрифтів. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

5. Векторні рисунки, створювані в спеціалізованих векторних редакторах умовних знаків. Цей спосіб є найгнучкішим, оскільки векторні зображення створюються дуже швидко, якість зображення друкованого варіанта (не на екрані) є вищим, ніж при інших способах, дає змогу користувачеві швидко створювати нові умовні знаки. Цей спосіб реалізований, наприклад, у технології «ех-шрифтів», використовуваній системою IndorGIS.

6. Метафайли. Умовні знаки задаються у вигляді векторних зображень, збережених у форматі Windows Metafile. Цей спосіб є досить швидким і

якісним, проте незручним для користувача, якщо потрібно створити нові умовні знаки.

7. Багатошарові умовні знаки, що складаються із знаків, заданих різними, наведеними вище способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у деяких інших ГІС.

Лінійні умовні знаки:

1. Прості стандартні лінії, оцифрування яких вбудоване у Windows (реалізовано у Windows GDI). Це суцільні, штрихові, пунктирні лінії. До того ж тільки товщина суцільних ліній може бути одиничною. Цей спосіб уможливорює швидке відображення лінійних об'єктів на екрані, проте він не відповідає нормам створення картографічних матеріалів. Спосіб реалізований у більшості ГІС.

2. Штрихові лінії, якими можна задавати товщину й довжину штрихів, а також проміжок між ними. Цей спосіб сприяє розвиткові образотворчих можливостей ГІС, але не вирішує проблеми відображення повноцінних умовних знаків. Цей спосіб реалізований у багатьох ГІС.

3. Рубані лінії. При цьому способі лінії відображаються з певною періодичністю, позначаються невеликі відрізки під заданим що до лінії кутом. Рубані лінії визначаються розміром і формою маленьких відрізків, а також проміжками між ними. Цей спосіб реалізований тільки в деяких сучасних ГІС.

4. Точкові умовні знаки, повторювані уздовж лінії з певною періодичністю, а також окремі знаки, повторювані на кінцях лінії. Цей спосіб реалізований в багатьох сучасних ГІС.

5. Багатошарові умовні знаки, що складаються із знаків, заданих різними наведеними вище способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у деяких інших ГІС.

Головною проблемою при комп'ютерному зображенні лінійних умовних знаків є в зображення решти ліній і місць перегину. Справа в тому, що для багатьох умовних знаків, які застосовуються в картографії, існують різноманітні, чітко не формалізовані обмеження. Наприклад, якщо лінійний умовний знак є штриховою лінією, то її проміжки не повинні доводитися на кінці, а точки повороту позначаються лініями. Саме тому багатолінійні умовні знаки на створених картах мають неформальну (не періодичну) структуру.

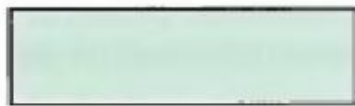
Майданні умовні знаки задають такими способами (рис. 5.7):

1. Одноколірне зафарбовування. Видима область зафарбовується одним кольором. Цей спосіб використовується у всіх ГІС.

2. Градієнтне зафарбування. При цьому способі зображується область заповнюється шляхом плавного переходу кольорів відповідно до деякого колірної шаблону. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

3. Зафарбовування за шаблоном. При цьому способі задається деяка матриця розміром 8×8 , кожен елемент якої має значення 0 або 1. При відображенні вся область заповнюється такими шаблонами за пікселями, із використанням двох кольорів для відтворення значень 0 і 1 в матриці. У цьому способі можна плавно змінювати масштаб зображення зафарбовування, а це прийнятно тільки для зображення просторових даних на екрані комп'ютера, оскільки на принтері пікселі настільки малі, що малюнок при друкуванні буде виглядати, як звичайне одноколірне зафарбовування. Недоліком є те, що можна використовувати тільки два кольори. Цей спосіб дещо застарів, але, як і раніше, застосовується в багатьох ГІС.

4. Текстурне зафарбовування. Цей спосіб є логічним продовженням попереднього, він забезпечує створення текстури – довільного растрового зображення, яким буде заповнена відображена область на карті. На відміну від попереднього способу, текстури можуть масштабуватися. Недоліком цього способу є те, що в разі певного збільшення стають помітнішими окремі піксельні текстури. Цей спосіб використовується в багатьох ГІС.



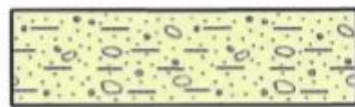
1. Одноколірне зафарбовування



2. Градієнтне зафарбовування



3. Зафарбовування за шаблоном



4. Текстурне зафарбовування



5. Заповнення точковим умовним знаком



6. Заповнення паралельними лініями



7. Багатошарові умовні знаки

Рисунок 5.7 – Різні способи завдання майданних умовних знаків в ГІС

5. Заповнення точковими умовними знаками. При цьому способі заданий довільний точковий умовний знак розмножується всередині відображуваної області. Якщо точковий умовний знак потрапляє на межу зафарбованої області, то залежно від налаштувань, він може або не зафарбовуватися зовсім, або відсікатися уздовж межі зафарбованої області. Цей спосіб реалізується в багатьох ГІС.

6. Заповнення паралельними лініями. При цьому способі відображається область, яка заповнюється паралельними лініями під деяким кутом і на деякій відстані одна від одної. Кожна з паралельних ліній визначається як деякий лінійний умовний знак. Цей спосіб реалізований, наприклад, в ArcGIS.

7. Багат шарові умовні знаки, що складаються із знаків, заданих різними наведеними вище способами. Цей спосіб використовується, наприклад, в ArcGIS, а також у деяких інших ГІС.

Необхідно зазначити, що всі умовні знаки можуть бути масштабованими і немасштабованими. Для перших розмір задається в одиницях системи координат карти, а тому в разі збільшення зображення розмір знака на екрані пропорційно збільшується. У немасштабованих знаках розмір задається в деяких одиницях (наприклад в міліметрах; це зручно, якщо карта готується для друку) або в системі координат екрана (у пікселях), а тому знак на екрані зображується завжди одного розміру, незалежно від поточного масштабу відображення.

У більшості ГІС (наприклад у ArcGIS) усі умовні знаки є немасштабованими. У деяких ГІС (наприклад у IndorGIS) умовні знаки можуть бути також масштабованими.

5.3 Візуалізація векторних даних

Більшість візуалізаторів векторних даних (як і умовні знаки) масштабуються або ні. Якщо вони масштабуються, то в разі збільшення розміру карти на екрані будуть пропорційно збільшуватися і відображатися й розміри умовних знаків. Якщо вони не масштабуються, то їх розміри на екрані будуть завжди однаковими незалежно від поточного масштабу зображення.

Розглянемо найпоширеніші різновиди візуалізаторів векторних даних.

1. Візуалізатори з однаковим умовним знаком. Ці візуалізатори є найпростішими. Усі просторові об'єкти відображаються однаково — одним і тим самим умовним знаком (рис. 5.8).

2. Візуалізатори за категоріями. Для використання таких візуалізаторів необхідно вказати певний атрибут, наявний у всіх відображуваних об'єктах.

Після цього ГІС аналізує весь набір просторових даних і для кожного можливого значення зазначеного атрибута задає певний умовний знак. Потім користувач може змінити умовні знаки, якими будуть відображатися просторові об'єкти, що мають певні значення атрибута.

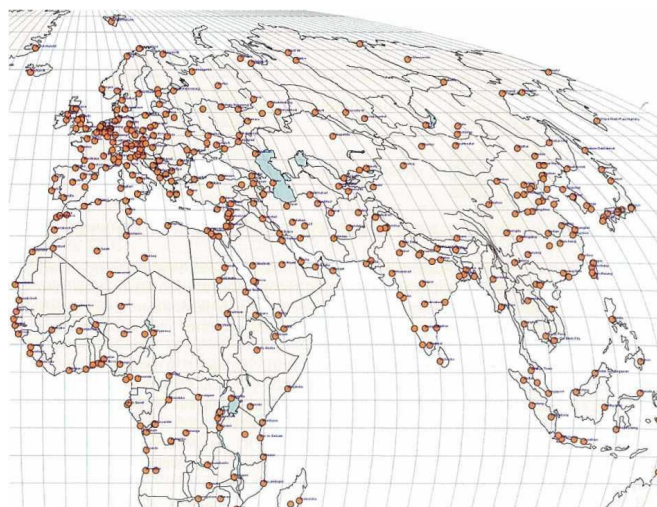


Рисунок 5.8 – Відтворення карти світу за допомогою однакових умовних знаків

Щоб продемонструвати можливості візуалізації за категоріями, на рисунку 5.9 подано відтворення карти світу. Було обрано набір просторових даних із країнами світу, для яких вказано атрибут з іменами країн.

3. Візуалізатор за діапазонами. У цьому візуалізаторі, як і в попередньому, користувачем задається деякий атрибут. При цьому, однак, не кожному можливому значенню цього атрибута відповідає окремий умовний знак, а тільки деяким діапазнам значень цього атрибута.

4. Візуалізатор за умовними виразами. Цей спосіб є логічним продовженням попереднього методу. При цьому способі можна над атрибутами просторових об'єктів вказати логічні вирази, а також ті умовні знаки, які будуть відповідати цим атрибутам.



Рисунок 5.9 – Відтворення карти світу за допомогою різних умовних знаків

5. Візуалізатор за підписами дає змогу розмістити текстові написи поблизу об'єктів. Для цього необхідно вказати деякий атрибут або вираз над атрибутами, значення якого повинні бути виведені поблизу відповідних векторних об'єктів; також необхідно вказати параметри шрифту (ім'я, розмір, стиль і колір). Крім того, можна зазначити, що повторювані написи не повинні виводитися на екран, а написи не перекриватися один одним.

6. Візуалізатор за діаграмами дає змогу візуально аналізувати розподіл по карті обраних параметрів просторових об'єктів. При цьому необхідно вказати декілька атрибутів об'єктів, які будуть використовуватися для побудови діаграм (рис. 5.10).

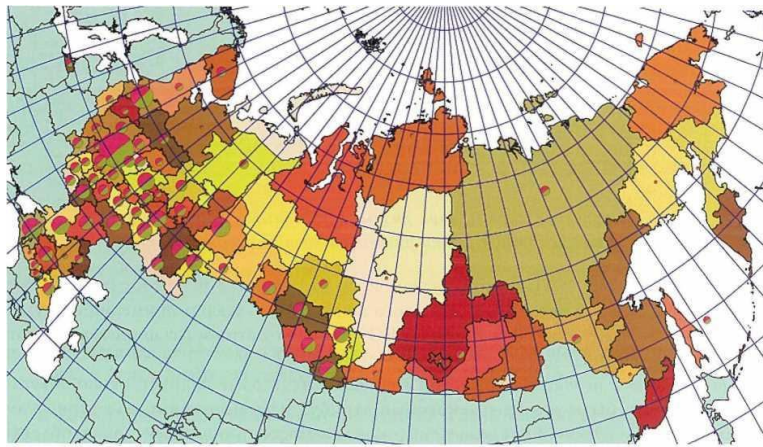


Рисунок 5.10 – Відтворення карти світу за допомогою діаграм* Площа діаграм показує населення суб'єктів України, а сегменти діаграм – співвідношення чоловічого і жіночого населення

7. Візуалізатор за точками щільності. Розкидані випадковим чином по полігону з певною щільністю деякі точкові умовні знаки (зазвичай це маленькі кружечки) дають змогу наочно уявити деякі характеристики об'єктів, наприклад щільність населення країн (рис. 5.11).

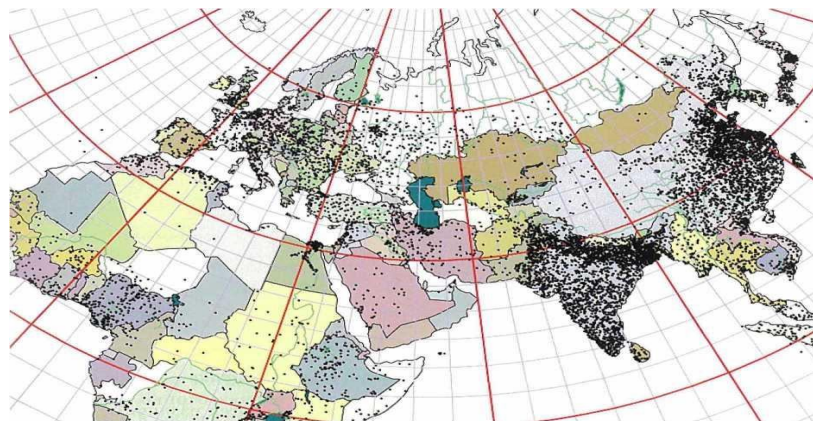


Рисунок 5.11 — Відтворення за допомогою точок щільності населення в різних країнах світу

8. Візуалізатор за сплайнами. Візуалізація поліліній і полігонів стандартним способом у вигляді ламаних не завжди дає змогу отримати адекватні візуальні результати, коли за допомогою цих геометричних фігур зображуються гладкі об'єкти. У такому разі фігури можна згладити сплайнами.

Зазначимо, що у всіх візуалізаторах є різні параметри, значення яких повинен заздалегідь вказати користувач (наприклад у візуалізаторі фіксованим умовним знаком потрібно вказати розмір умовного знака). У деяких ГІС такі значення не фіксуються, а обираються із вказаного атрибута або обчислюються на підставі деяких атрибутів.

5.4 Візуалізація растрових даних

Растрові просторові дані подаються у вигляді матриці, у кожному осередку (пікселі) якої зберігаються одне або декілька чисел. Кількість чисел що зберігаються в кожному пікселі, визначаються кількістю каналів (англ. band), з яких складається растр. На практиці зазвичай використовуються один або три канали (проте каналів може бути два, чотири й більше). Зазвичай три канали становить окремі RGB - складники видимого людським оком спектру світла – червоний (R), зелений (G) і синій (B). У разі використання тільки одного каналу в кожному пікселі зберігається деякий код, інтерпретування якого обумовлюється предметною областю (здебільшого за цим кодом за допомогою палітри растру зіставляється деякий колір). Відомо такі різновиди візуалізаторів растрових даних:

1. *Композитний візуалізатор.* Цей візуалізатор використовується для відображення растрів, що мають кілька каналів. При цьому користувач повинен вказати, які з каналів растру будуть відповідати червоному, зеленому і синьому кольору під час формування кольору виведеного пікселя.

Цей різновид візуалізатора найоптимальніший в разі, якщо растр містить три канали з RGB-складниками кольору. Однак він може застосовуватися і для інших каналів. Наприклад, дані дистанційного зондування, що надходять від супутників, зазвичай містять безліч каналів з даними як у видимому, так і в ультрафіолетовому, інфрачервоному або радіодіапазоні хвиль. Такі дані відображають за допомогою композитного візуалізатора, вибираючи для відображення ті або інші канали. Про зображення, отримане цим способом, кажуть, що воно «показано в умовних кольорах», оскільки кольори зображення не співвідносяться із звичайними для людського ока кольорами (рис. 5.12).

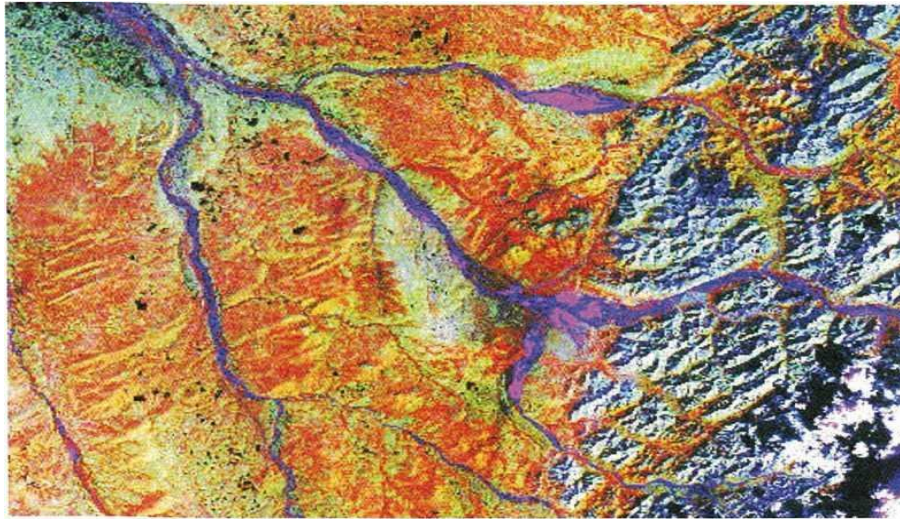


Рисунок 5.12 — Композитна візуалізація ДДЗ в умовних кольорах

2. *Візуалізатор за унікальними значеннями.* Цей візуалізатор уможлиблює відображення даних тільки одного каналу растру. У ньому з усіма можливими значеннями растру в пікселях співставляється деякий колір, за допомогою якого й відображається відповідний піксель. Таблиця такої відповідності називається палітрою.

3. *Візуалізатор за діапазонами значень.* Цей візуалізатор, як і попередній, дає змогу відображати дані тільки одного каналу растру. При цьому всі можливі значення в пікселях растру розбиваються на деякі діапазони, із якими співвідноситься деякий колір. При відображенні растру для кожного його пікселя визначається діапазон, у який потрапляє значення пікселя, а отже, визначається і відповідний для відображення колір на карті.

4. *Візуалізатор з розтягуванням значень уздовж колірної шкали.* Кожне значення в пікселях растру масштабується і приводиться до речових значень у діапазоні від 0 до 1. Отримана величина визначає значення кольору вздовж деякого безперервного колірної шкали. На рисунку 5.19 наведено приклад візуалізації растру, що становить собою модель рельєфу, у кожному пікселі якого записана висота відповідної точки на поверхні Землі в деякій системі висот.

5.5 Візуалізація транспортних мереж

Нагадаємо, що транспортна мережа складається з вузлів, ребер і маршрутів (див. п. 2.4). При відображенні об'єктів транспортної мережі на карті можна застосовувати звичайні візуалізатори, використовувані для векторних даних. Однак у деяких ГІС є специфічні способи візуалізації для транспортних

мереж. Наприклад, дуги мережі відображаються лініями зі стрілками на кінцях, що показують допустимі напрями руху. Маршрути громадського транспорту позначені лініями зі стрілками, що проходять уздовж дороги.

В окремих випадках інформація про транспортну мережу може відображатися за допомогою інших способів, а саме:

1. *Картограми транспортних потоків.* У цьому візуалізаторі дуги мережі відображаються лініями однакового кольору, але різної товщини, пропорційної до транспортного потоку на відповідній дузі мережі. Транспортний потік може становити певна кількість автомобілів, що проїхали по дорозі за деякий час (наприклад за годину або добу), кількість пасажирів, перевезених за вказаною дугою, або інше.

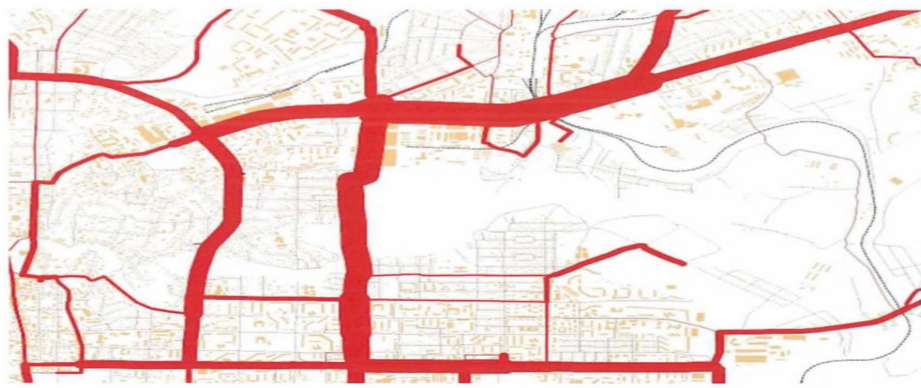


Рисунок 5.13 – Візуалізація транспортних потоків

2. *Міжрайонні зв'язки* – це картограма укрупнених транспортних потоків між транспортними районами.

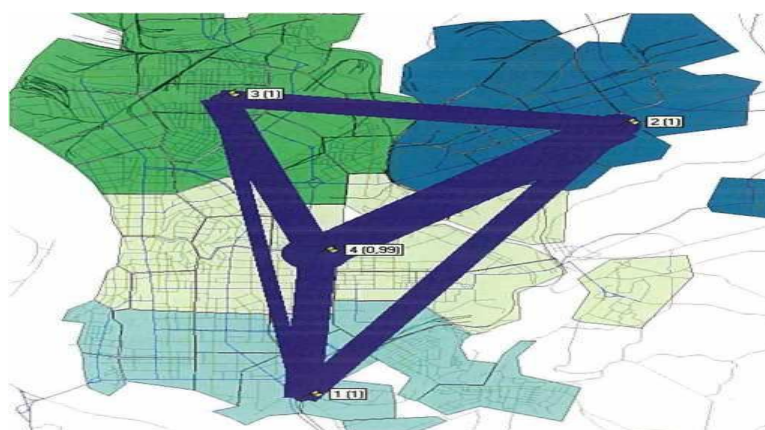


Рисунок 5.14 – Візуалізації міжрайонних зв'язків транспортних районів

Між центрами транспортних районів проводяться лінії, товщина яких має бути пропорційною величині узагальненого транспортного потоку по всіх дорогах між двома районами (рис. 5.14).

5.6 Візуалізація поверхонь

Поверхні в ГІС зазвичай подаються двома способами – у вигляді регулярної або нерегулярної мережі відліків, тобто за допомогою растрової або триангуляційної моделі.

Відомо декілька головних способів відображення поверхонь на карті:

1. *Відображення кольорами за висотою.* Кожна точка на карті відображається кольором, який обирається відповідно до висоти відповідної точки на поверхні (рис. 5.15, а).

2. *Світлотіньове відображення (спосіб «відмивання рельєфу»).* При цьому способі кожна точка на карті відображається кольором так, щоб створювався ефект «опуклого» тривимірного зображення (рис. 5.15, б).

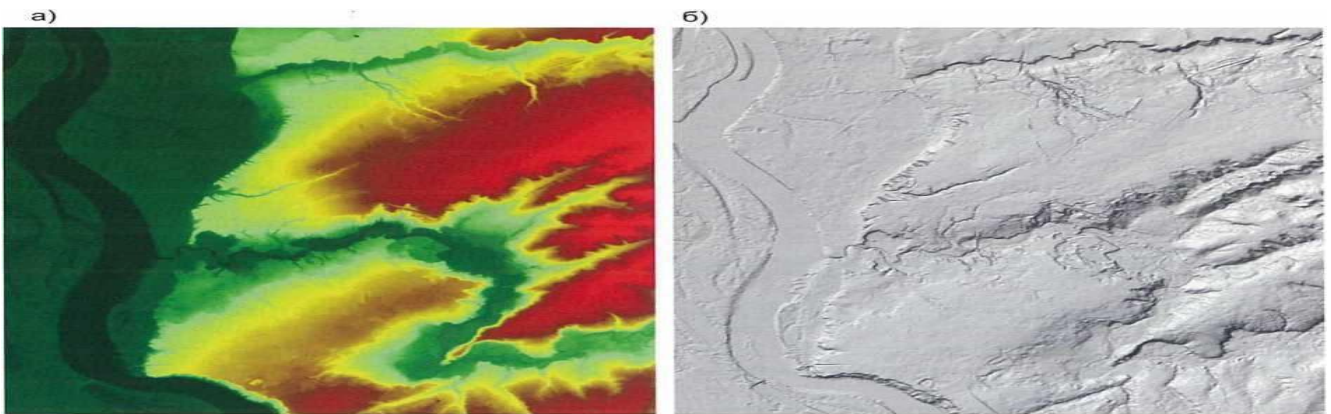


Рисунок 5.15 – Відображення моделі рельєфу кольорами за висотою (а) і світлотінню (б)

3. *Відображення ізолініями.* Цей спосіб є найпоширенішим у традиційній («паперовій») картографії. При ньому на карті відображається безліч ізоліній – ліній однакової висоти, що проводяться через різні висотні позначки з деяким кроком (рис. 5.16, а).

4. *Відображення ізоконтурями.* Ізоконтури – це області на карті, у яких висоти розподілені в деякому діапазоні. По суті, ізоконтури – це області між суміжними ізолініями. Цей спосіб відображення є комп'ютерним узагальненням способу ізоліній, що дає змогу в деяких випадках наочніше відображати розподіл висот на карті. Під час відображення ізоконтурів на карті їх зазвичай розфарбовують залежно від висот окремих контурів (рис. 5.16, б).

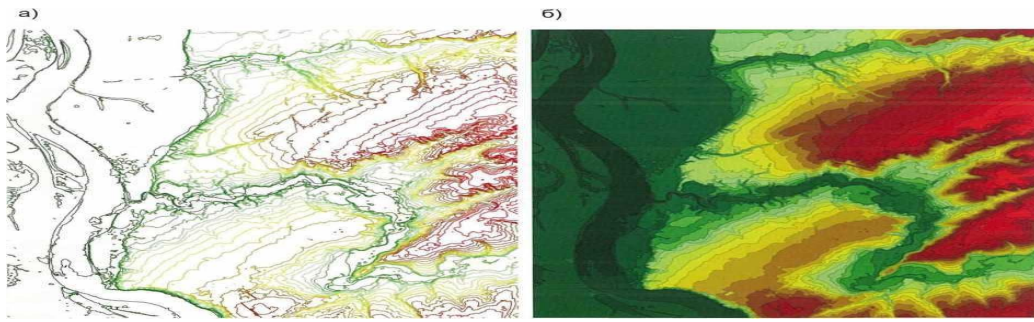


Рисунок 5.16 – Відображення моделі рельєфу ізолініями (а) й ізоконтурами (б)

5. *Зображення ізокліни.* Ізокліни – це лінії з однаковим нахилом на поверхні, побудовані з певним кроком. Нахил у визначеній точці поверхні вимірюється як відхилення нормалі до поверхні в цій точці від вертикалі. нахил може вимірюватися в градусах, однак здебільшого він вимірюється у відсотках або проміле.

Величина нахилу поверхні у відсотках вказує, на скільки метрів зміниться висотна відмітка на поверхні в разі переміщенні уздовж поверхні на 100 м. Наприклад, відсотки використовуються для позначення ухилу на дорожніх знаках. Приміром, значення нахилу 5 % означає перепад висот у 5 м на 100 м дороги.

Аналогічно вимірюється величина нахилу поверхні в проміле, тільки за основу береться переміщення по поверхні на 1000 м. Наприклад, нахил дороги в 20 ‰ означає перепад висот у 20 м на 1000 м дороги.

У ГІС ізокліни, як і ізолінії, можуть зображуватися як окремі лінії (рис. 5.17, а), так і у вигляді замкнених контурів (рис. 5.17, б).

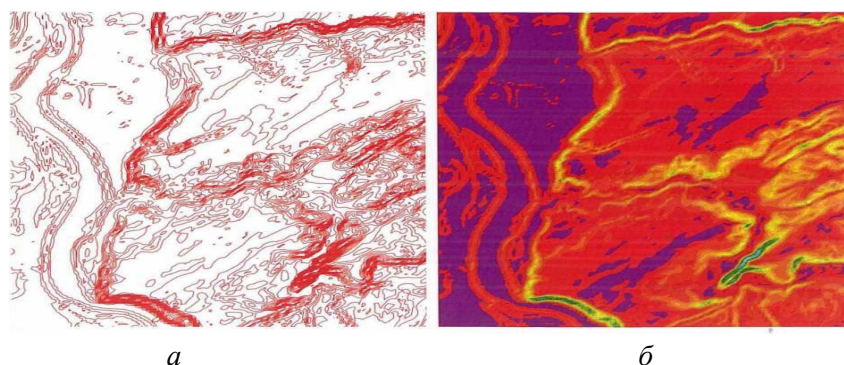


Рисунок 5.17 – Відображення моделі рельєфу ізокліни у вигляді ліній (а) і контурів (б)

6. *Відображення векторами нахилів.* Цей спосіб візуалізації зазвичай використовується при роботі у великому масштабі, коли досить візуально визначити напрям і кут нахилу поверхні. Зазвичай в центрі кожного осередку поверхні (у кожному осередку регулярної моделі або в кожному трикутнику

нерегулярної) позначається стрілка, спрямована в бік нахилу поверхні, а її довжина показує ступінь нахилу: що довша стрілка, то більший нахил (рис. 5.18, а). Іноді замість довжини стрілки позначається її товщина: що товща стрілка, то більший нахил.

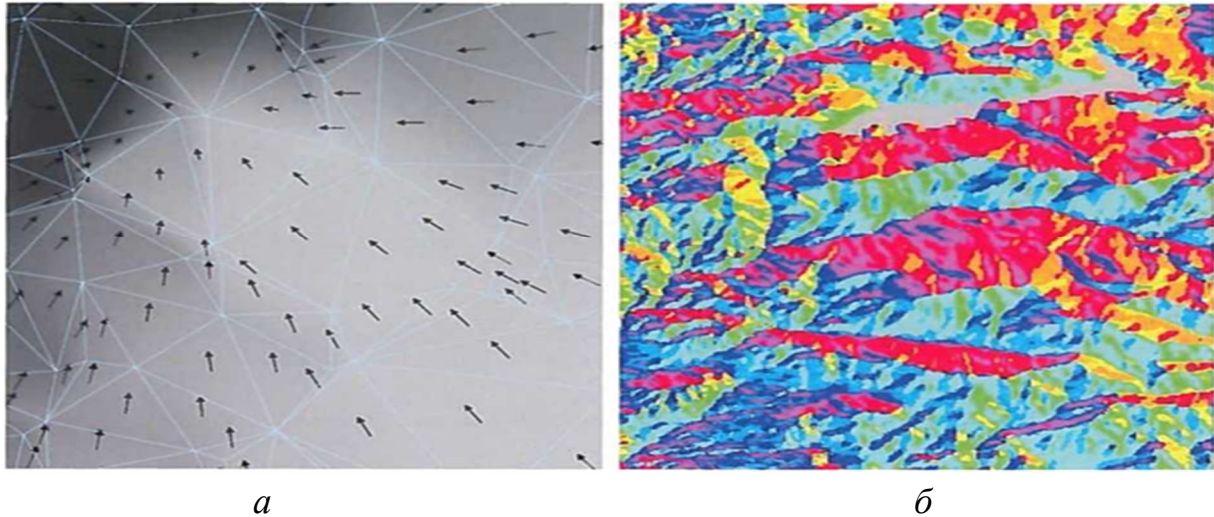


Рисунок 5.18 – Відображення моделі рельєфу векторами нахилів (а) і експозиціями схилів (б)

7. *Відображення експозиціями схилів.* Цей спосіб дає змогу візуально визначити, у який бік щодо світла нахилена поверхня. Зазвичай сторони світу ділять на вісім частин секторами по 45° (північ, південь, захід, схід, північний захід, північний схід, південний захід і південний схід), а потім для кожного осередку моделі поверхні визначають напрям нахилу поверхні і обирають один із восьми кольорів відображення осередку (рис. 5.18, б).

5.7 Тривимірна візуалізація

Тривимірна візуалізація в ГІС є додатковим ілюстративним засобом, що дає змогу інтерактивно оглянути цифрову модель місцевості з ефектом присутності.

Звичайна ЦММУ зазвичай не містить достатньо інформації для створення повноцінного тривимірного зображення. Така ЦММ, доповнена допоміжними відомостями, називається віртуальною моделлю місцевості (далі — ВММ), яку іноді називають сценою.

У наш час віртуальні моделі місцевості відображаються на екрані комп'ютера за допомогою стандартних засобів, наявних у всіх сучасних комп'ютерах. Майже всі сучасні комп'ютери в своєму складі мають відеокарти, що забезпечують роботу в тривимірному режимі. Майже всі операційні системи

містять програмні бібліотеки для тривимірної візуалізації, серед яких найвідоміші OpenGL і DirectX. Використання тієї чи іншої програмної бібліотеки в спричиняє певні обмеження. Насамперед це обмеження по швидкості, якості й детальності візуалізації.

Віртуальна модель місцевості містить такі різновиди:

1. *Моделі рельєфу* (ЦМР) у вигляді регулярної або нерегулярної мережі відліків. Щодо якості тривимірної візуалізації найкращого результату зазвичай досягають за допомогою нерегулярної (триангуляційної) моделі рельєфу, особливо в разі однакової кількості елементів ЦМР. Однак часто застосовується і регулярна (растрова) модель, особливо для дрібномасштабних карт.

Відомо, що швидкість тривимірної візуалізації (кількість кадрів, ГПС за 1 с) моделі рельєфу зазвичай обумовлюється тільки кількістю елементів ЦМР, а тому зазвичай обирається нерегулярна триангуляційна модель ЦМР, незважаючи на те, що файл нерегулярної моделі займає на диску набагато більше місця, ніж файл аналогічної регулярної моделі.

На рисунку 5.19 наведено приклад тривимірного зображення триангуляційної моделі рельєфу, а на рисунку 5.20 – приклад регулярної моделі.

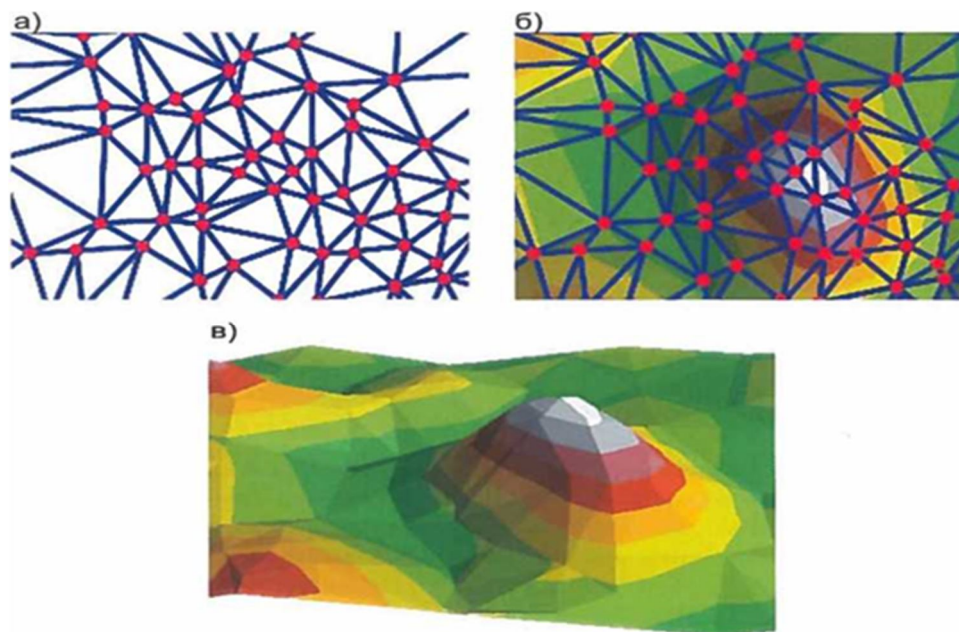


Рисунок 5.19 – Тривимірне відображення триангуляційної моделі рельєфу:

а – триангуляція;

б – триангуляційна модель рельєфу;

в – тривимірне відображення рельєфу

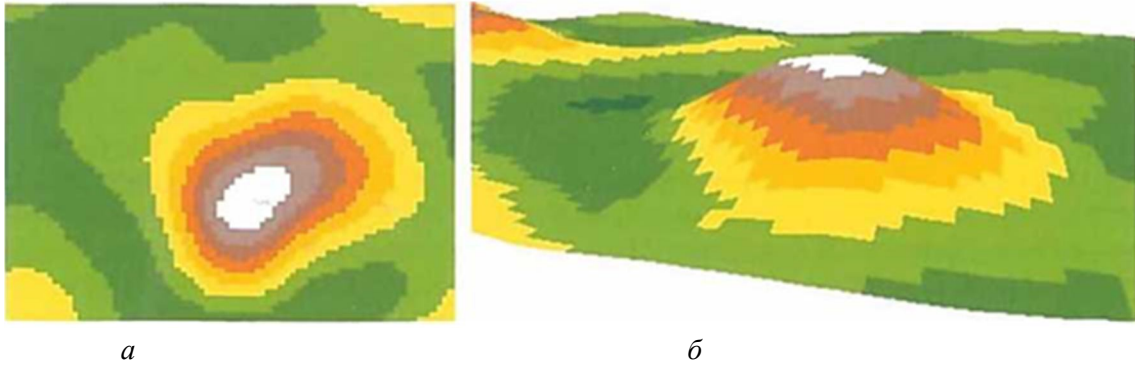


Рисунок 5.20 – Тривимірне відображення регулярної моделі рельєфу:
 а – регулярна мережа;
 б – тривимірне відображення рельєфу

2. *Растрові зображення земної поверхні.* Такими може бути космічний або аерофотознімок, відскановане зображення карти або зображення двомірної карти, автоматично з генерованої звичайними засобами ГІС. Такі растрові зображення накладаються (натягуються) поверх моделі рельєфу методом текстурування (рис. 5.21).

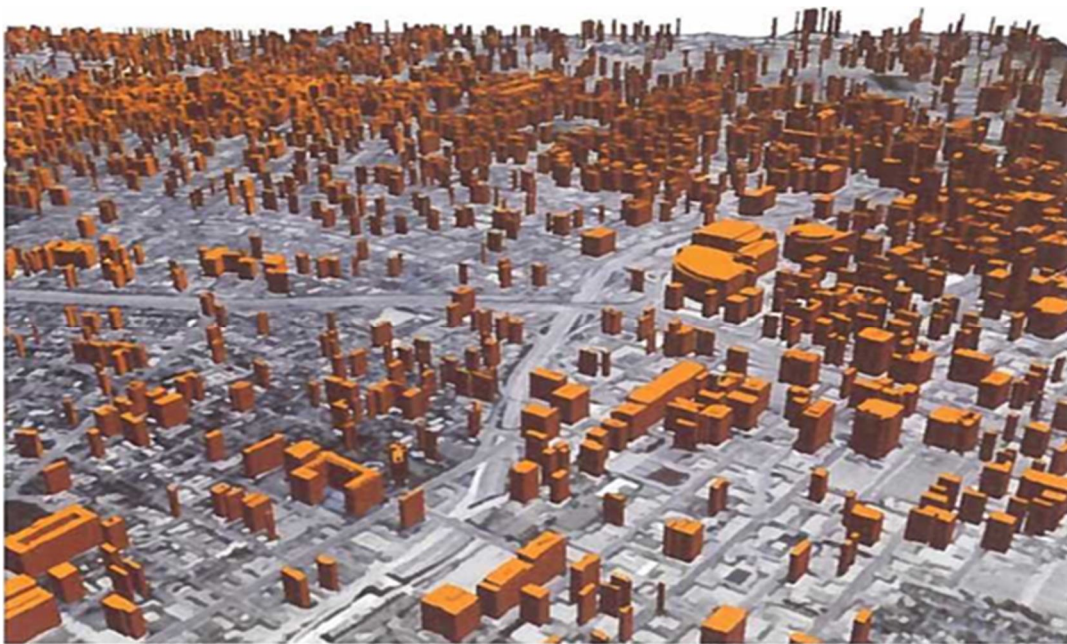


Рисунок 5.21 – Тривимірне зображення місцевості з натягнутими на рельєф аерофотознімками й векторними даними (будівлі)

3. *Векторні дані,* які шляхом видавлювання по вертикалі набувають об'ємного вигляду. Наприклад, шар будівель, поданий у вигляді полігонів, шляхом видавлювання вгору на деяку висоту (залежно від значень атрибутів)

набуває вигляду багатогранників. Сторони цих будівель можуть бути пофарбовані одним кольором, або на них можна нанести текстуру (рис. 5.21).

4. *Підписи об'єктів.* Виокремлюють два різновиди таких підписів — плоскі й тривимірні. Плоскі підписи наносяться поверх готового тривимірного зображення поблизу обраних об'єктів. При цьому недоліком є те, що такі плоскі підписи можуть взаємно перекриватися, спотворюючи текст, і не завжди зрозуміло, якого об'єкта стосується напис.

Тривимірні підписи – це, по суті, повноцінні тривимірні об'єкти, які є частиною тривимірної сцени. Тривимірні підписи зазвичай подібні до дорожніх знаків, встановлених у деяких точках місцевості, але при цьому їх можна повернути до читача. За необхідності можна наблизитися до цього підпису й розглянути його.

5. *Тривимірні об'єкти спеціального призначення.* Зазвичай ці об'єкти імпортуються з інших програм у вигляді готових моделей, поданих у деякому стандартному форматі, при цьому здебільшого використовуються формати 3D Studio (файли з розширенням .3DS) і X-файли (файли з розширенням .X). Таким способом можна, наприклад, імпортувати детальну тривимірну модель будівлі і встановити її в деякому місці на карті, при цьому будівля з'явиться у тривимірному вікні.

Деякі геоінформаційні системи уможливають створення автоматичних тривимірних моделей деяких стандартних різновидів об'єктів, зокрема будівель (мають дах зі скатами), автомобілів, літаків, трубопроводів, дорожніх знаків, огорожень, парканів, зелених насаджень тощо (рис. 5.22).



Рисунок 5.22 — Тривимірне зображення місцевості з дорогою, будівлями, шляхопроводом і зеленими насадженнями

На сьогодні здебільшого використовуються такі способи перегляду віртуальних моделей місцевості:

1. *Статичний перегляд ВММ з певної точки огляду.* Цей спосіб найбільш простий і не потребує великих потужностей комп'ютера.

2. *Обліт ВММ в реальному часі (в режимі літака).* Цей спосіб забезпечує найповніший візуальний огляд місцевості, проте він передбачає наявність великої потужності відеокарти й комп'ютера загалом, оскільки для забезпечення ефекту присутності зображення повинно перераховуватися в реальному часі зі швидкістю не менше 10 — 20 кадрів/с. У цьому режимі користувач може пересуватися по тривимірній сцені, використовуючи клавіатуру або мишу.

3. *Об'їзд ВММ в реальному часі (у режимі автомобіля або пішохода).* Цей спосіб, по суті, еквівалентний попередньому, за винятком того, що в цьому випадку висота точки огляду зафіксована над поверхнею.

4. *Заздалегідь записаний відеофайл.* Попередні два способи не завжди можна повноцінно використовувати внаслідок високих вимог до швидкості роботи відеокарти й комп'ютера загалом. Саме тому в багатьох тривимірних ГІС існують можливості для створення відеоролика, що відтворює зображення уздовж деякої заздалегідь заданої траєкторії польоту. ГІС прораховує окремі кадри зображення і зберігає їх у відеофайл, наприклад у форматі AVI. Після цього отриманий відеоролик можна вже переглядати за допомогою будь-яких засобів перегляду відеофільмів на звичайних (найпотужніших) комп'ютерах.

Зазначимо, що більшість ГІС не забезпечують роботу з великими ВММ в реальному режимі часу. Це зазвичай обумовлено технічними особливостями реалізації ГІС, коли ВММ цілком завантажується в оперативну відеопам'ять.

У наш час можливість роботи з ВММ перебачена в багатьох ГІС, однак більшість із них істотно обмежені. Серед безлічі рішень для роботи з ВММ можна виокремити програмний продукт SiteBuilder 3D (виробник MultiGen-Paradigm, США), за допомогою якого можна створювати віртуальні моделі місцевості з великою кількістю об'єктів і високим ступенем деталізації. Цей продукт реалізований як програмна надбудова для ArcView GIS 3.2 і для ArcGIS 8.x / 9.x.

SiteBuilder 3D на підставі звичайних (плоских) даних у ГІС самостійно створює необхідну ВММ з додатковими структурами даних, що уможливають виконання візуалізації тривимірних карт в реальному режимі часу. На рисунку 5.23 наведено приклад ВММ, побудованого за допомогою SiteBuilder 3D на підставі карти в ArcView GIS 3.2.

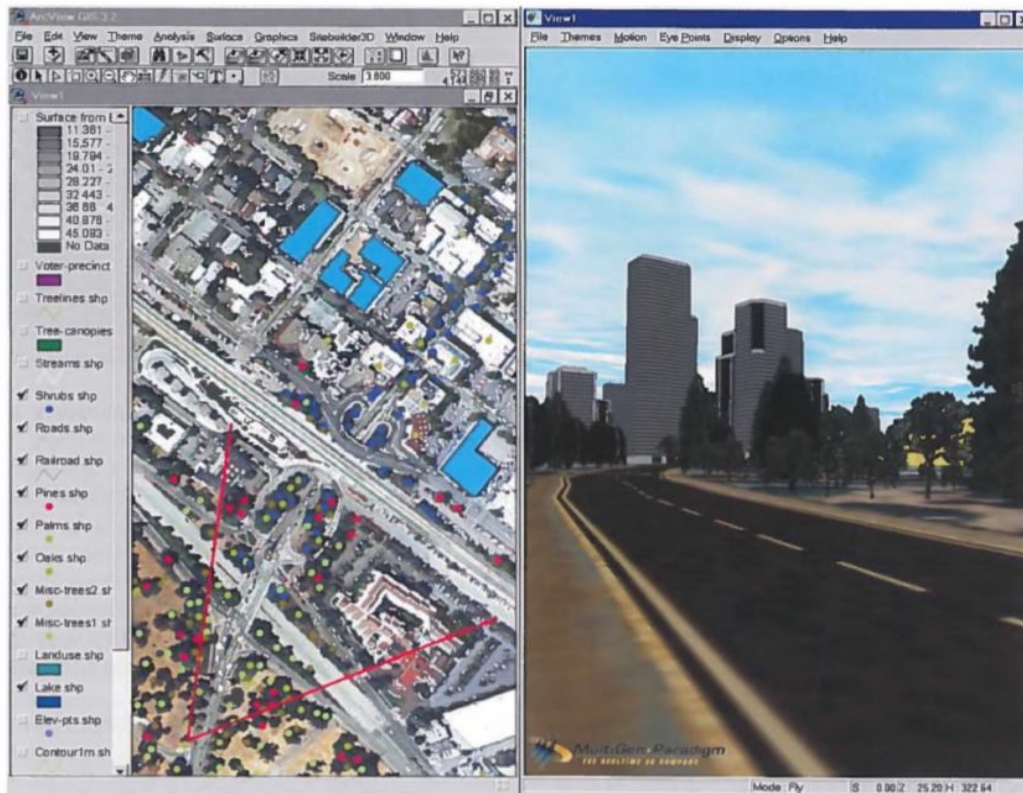


Рисунок 5.23 – Тривимірне зображення місцевості, побудоване за допомогою програми SiteBuilder 3D в середовищі ArcView GIS 3.2

У лівій частині екрана подано вихідну двовимірну карту, у правій – відповідне тривимірне зображення. Для зручності навігації в просторі в лівій частині екрана двома лініями зображено кут огляду.

5.8 Картографічні анімації

Карти в ГІС є прямим комп'ютерним аналогом паперових карт, проте комп'ютери забезпечують використання нових образотворчих можливостей, що не мають аналогів в традиційній картографії. Одним з таких інструментів є функція тривимірної візуалізації, розглянута в попередньому розділі. У цьому розділі розглянемо інший інструмент, що уможливорює створення динамічних (рухливих, анімаційних) зображень картографічних об'єктів.

Динамічні карти можна розподілити на такі різновиди:

1. *Оперативні карти*, що змінюються відповідно до змінювання геометричних або атрибутивних характеристик просторових об'єктів. Такі зображення призначені для оперативного моніторингу стану об'єктів у реальному режимі часу.

Типовим прикладом застосування оперативних карт є відстеження стану об'єктів, що рухаються на місцевості. Це можуть бути, наприклад, автомобілі

оперативних служб, що переміщуються по місту. Ці машини повинні бути забезпечені GPS-приймачами і періодично передавати інформацію в певний комп'ютерний центр, повідомляючи про змінювання свого розміщення в просторі. У цьому центрі інформація про стан автомобілів повинна зберігатися в базі даних. Зі свого боку, ГІС повинна періодично робити запити до цієї бази даних, отримувати звіди інформацію про становище автомобілів і перемальовувати карту з автомобілями.

Ще одним типовим прикладом застосування оперативних карт є використання їх для відображення різноманітної технологічної інформації, що надходить від різних давачів шляхом телеметрії. Наприклад, система управління світлофорами в місті складається з електронної карти, на якій відображається стан всіх світлофорів, а також засобів віддаленого управління світлофорами.

Світлофори можуть як керуватися з одного центру, так і самостійно змінювати свій стан (наприклад після натискання кнопки пішоходом, який бажає перейти дорогу). Тому на світлофорах повинні розміщуватися давачі, що передають в центральну базу даних відповідну інформацію. Зі свого боку, ГІС повинна періодично перевіряти стан усіх світлофорів і перемальовувати зображення карти.

Зазначимо, що такі системи, що включають засоби для відображення і змінювання стану об'єктів, зазвичай відносять до класу програмних продуктів АСУ ТП (автоматизовані системи управління технологією виробництва). Ці АСУ ТП зазвичай включають засоби для візуального відображення різних параметрів об'єктів на схемах, кресленнях і планах. У деяких випадках АСУ ТП можуть бути побудовані на базі ГІС.

Зауважимо, що на відміну від попереднього прикладу щодо автомобілів, де змінювалися геометричні характеристики просторових об'єктів (координати автомобілів на місцевості), в АСУ ТП геометрія об'єктів зазвичай фіксована, але змінюються атрибутивні характеристики. За допомогою телеметрії в АСУ ТП знімаються покази з різних приладів і передаються на сервер у базу даних. Зі свого боку, ГІС періодично обирає з бази даних різні атрибути просторових об'єктів і перемальовує карту (рис. 5.24).

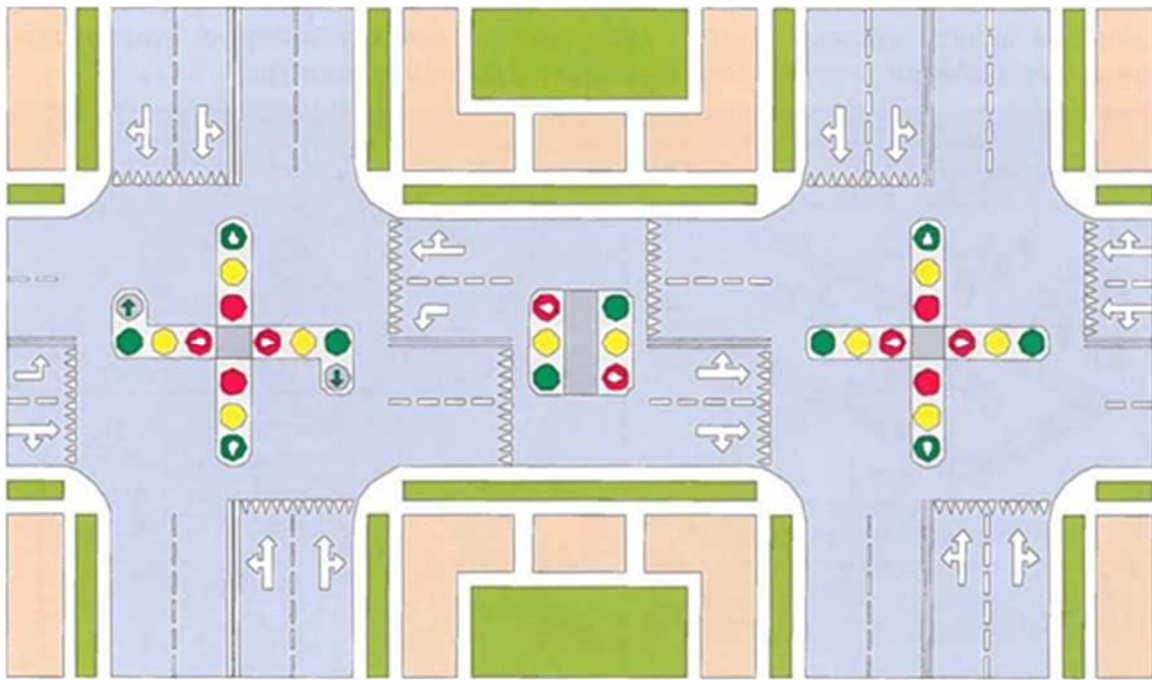


Рисунок 5.24 – Карти, на якій оперативно відображається стан світлофорів

2. *Карти з анімованими умовними знаками.* На таких картах використовуються особливі умовні знаки, які постійно змінюють свій вигляд. У звичайній картографії умовні знаки мають відповідні форму, розмір, колір, яскравість, орієнтацію і внутрішню структуру. В анімованих умовних знаках ці характеристики постійно змінюються за деякими законами. При цьому додатковою характеристикою умовних знаків є закон змінювання знаків, зокрема швидкість змінювання.

Розглянемо деякі найпоширеніші способи анімації умовних знаків.

Анімація форми. Наприклад, на карті країни міста можуть бути зображені у вигляді пульсуючих кружечків. Розмір кружечків повинен періодично змінюватися від максимального розміру, пропорційного до кількості населення міста, до мінімального (наприклад половина від максимального). При цьому швидкість змінювання розміру кружечків повинна бути пропорційна до середньорічного приросту населення у відсотках. Якщо приріст населення незначний, то кружечки повинні зменшуватися від максимального до мінімального розміру, а потім одразу ставати максимальними. Якщо приріст населення значний, то кружечки повинні збільшуватися.

Анімація кольору. При цьому способі колір умовного знака періодично змінюється від одного значення до іншого, до того ж швидкість пульсації кольору може бути пропорційна деякому заданому параметру. При використанні способу анімації розташування умовного знака не змінюється, але змінюється його розташування на карті. Умовний знак може переміщуватися по

деяким траєкторіям (наприклад уздовж переважаючих напрямів переміщення повітряних мас) або навколо однієї точки на карті. Наприклад, такими умовними знаками, розміщеними на карті у населених пунктах, можна описати рівень міграції. При цьому частота випадкових коливань умовного знака повинна бути пропорційною до обсягу міграції на душу населення, а амплітуда – до середньої дальності.

3. *Анімовані двовимірні карти динаміки.* Такі карти складаються з послідовності карт, що містять один і той самий набір просторових об'єктів (точкових, лінійних або майданних), але з різними геометричними (зображення динаміки розташування) і атрибутивними (зображення динаміки стану) характеристиками. За допомогою такого способу, наприклад, можна показати динаміку в часі руху фронтів повітряних мас по поверхні Землі, динаміку змінювання забруднення навколишнього середовища.

Такі карти динаміки можна переглядати окремими кадрами, обираючи певну дату й час, або за допомогою ГІС можна заздалегідь прорахувати всі кадри зображення і зберегти їх у відеофайл (файл з розширенням .AVI). Такий файл надалі можна переглядати у будь-якій стандартній програмі програвання відеофільмів.

4. *Анімовані анаморфози.* Цей різновид анімації можна розглядати як різновид попереднього – як карти динамічні, що за допомогою анаморфічних засобів передають змінювання різних параметрів у часі. Наприклад, так можна створити відеофільм змінювання населення Землі в різних регіонах і в різні часові періоди.

5. *Анімовані двовимірні карти руху.* У таких картах всі об'єкти фіксовані й не змінюються під час анімації. Змінюється масштаб зображення і координати центру карти на екрані. Послідовність кадрів, що відповідають різним ракурсам, за допомогою ГІС зберігається у відеофайл для подальшого перегляду. Такі анімовані карти руху зазвичай використовуються для презентацій.

6. *Анімовані тривимірні карти динаміки.* Двовимірні карти уможливають анімування фіксованого набору просторових об'єктів, що змінюють свої геометричні або атрибутивні характеристики. Перевагою тривимірної анімації порівняно з двовимірною є можливість повніше анімувати поверхні і інші тривимірні об'єкти.

7. *Анімовані тривимірні карти руху.* Цей спосіб анімації співпадає з попереднім, де описано процес анімування тривимірної моделі місцевості.

6 ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ

6.1 Вимірювальні операції

До *вимірювальних операцій (картометричних функцій)* у ГІС відносять функції, що уможливають визначення геометричних характеристик об'єктів, явищ або простору по карті (у проекції або по поверхні), такі як відстані, площі, азимути тощо.

Усі вимірювання в ГІС можна виконувати двома способами: вказуючи об'єкти, характеристики яких необхідно отримати, й інтерактивно задаючи точки вимірюваної геометричної фігури.

Розглянемо головні *вимірювальні операції*, які можна використовувати в геоінформаційних системах:

1. *Визначення координат точок на карті.* Щоб використати цю функцію, у більшості ГІС зазвичай не потрібно обирати спеціальний режим роботи. При переміщенні мишки по карті в рядку статусу зазвичай з'являються координати зазначеної курсором точки. До того ж рядку статусу може відобразитися й висотна відмітка цієї точки, якщо в ГІС деяка поверхня обрана як поточна.

Координати точок, які відображаються в ГІС, зазвичай зазначаються у початкових координатах об'єктів на карті (наприклад у градусах), проте можуть бути подані і в системі координат проекції (наприклад у метрах у проекції Гаусса-Крюгера).

2. *Вимірювання відстаней, азимутів і кутів.* Користувач повинен вказати на карті в ГІС послідовність точок ламаної, довжину якої потрібно обчислити. У рядку статусу ГІС виводить загальну довжину ламаної, а також довжину останнього сегмента ламаної. Крім того, для останнього сегмента може виводитися азимут і кут повороту щодо попереднього сегмента.

3. *Вимірювання площі і периметрів.* Як і при попередньому способі, користувач повинен задати в ГІС вершини деякого багатокутника. При цьому в рядку статусу ГІС будуть виводитися площа й периметр.

4. *Вимірювання лінійних координат (пикету і зміщення) точки щодо траси.* У цьому режимі користувач повинен вказати деяку лінію, щодо якої визначаються лінійні координати. У процесі, переміщення курсору мишки по карті в рядку статусу ГІС виводиться пикет і зміщення зазначеної точки.

Зазначимо, що деякі геоінформаційні системи забезпечують вимірювання відстаней і площ відповідно до форми земної поверхні. При цьому обчислення можна здійснювати або за поверхнею референц-еліпсоїда, або за деякою цифровою моделлю рельєфу, заданою у вигляді регулярної або нерегулярної мережі.

6.2 Векторний аналіз

Під терміном *векторний аналіз* у геоінформатиці розуміють набір інструментів, що дають змогу аналізувати наявні геометричні об'єкти й будувати нові.

Усі операції векторного аналізу визначені щодо фігур трьох типів: точкових, лінійних і площинних.

У наступних підрозділах буде розглянуто різні види операцій векторного аналізу та застосування їх на практиці.

6.2.1 Аналіз відношень

Під час аналізу просторових об'єктів часто виникає необхідність пошуку об'єктів, що пов'язані один з одним, є суміжними, вкладеними або перебувають у якихось інших відношеннях. Наприклад, нехай задано деяку автомобільну дорогу на карті області. По карті земельних ділянок можна визначити смугу відведення, у якій розташовується дорога, і відповідну охоронну зону. Після цього можна визначити всі будівлі, які вістяться всередину відповідної охоронної зони.

Усі операції аналізу відношень розподіляються на три групи:

А. *Бінарні операції визначення відношень* між парою заданих об'єктів. Результатом таких операцій є отримання логічного значення, за якими можна визначити, перебувають два об'єкти в цьому відношенні чи ні.

Б. *Пошукові запити*, що обирають всі об'єкти із заданого набору просторових даних, які перебувають у деякому бінарному відношенні до зазначеного об'єкта. Результатом цієї операції є отримання безлічі об'єктів із заданого набору даних, що задовольняють вказані співвідношення.

В. *Операції просторового поєднання* двох наборів просторових даних. Результатом цієї операції є отримання безлічі пар об'єктів, що задовольняють деякі задане бінарне відношення, до того ж перші об'єкти в цих парах повинні належати до першого набору просторових даних, а другі - до другого.

Усього виокремлюють вісім головних різновидів *бінарних відношень* між просторовими об'єктами. Надалі їх буде розглянуто, щодо кожного з них буде наведено рисунки, які характеризують їх стосовно трьох головних типів (залежно від розмірності) векторних даних: точкових (0-мірних), лінійних (1-мірних) і площинних (2-мірних). Для деяких поєднань типів фігур описані операції не мають значення, про що зазначено на рисунках.

Кожне відношення має два аргументи, які на малюнку позначені як «Перша фігура» і «Друга фігура», відповідно на перетині розміщується приклад співвідношення. Усі відношення відповідно названі дієсловом (із можливістю

подальшого наведення), наприклад «Містить в собі», тому потрібно читати так: «Перша фігура містить в собі другу фігуру».

Розглянемо ці відношення:

1. Співвідношення «Чи співпадає з» (*Equals*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони співпадають (рис. 6.1). До того ж фігури вважаються співпадними, якщо всі вузлові точки фігур (ламаних або полігонів) мають співпадні координати. Співвідношення визначається тільки для фігур, що мають однакові розмірність.



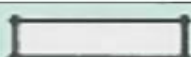



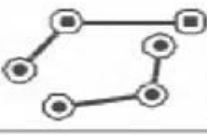

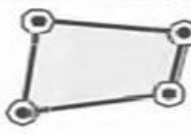
Equals	Перша фігура		
			
		Відношення не визначене	Відношення не визначене
	Відношення не визначене		Відношення не визначене
	Відношення не визначене	Відношення не визначене	

Рисунок 6.1 – Співвідношення «Чи співпадає з» (*Equals*)

2. Співвідношення «Містить в собі» (*Contains*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо друга фігура перебуває всередині першої, до того ж жодна точка другої фігури не повинна перебувати поза першою. Співвідношення не визначається в разі, якщо друга фігура більша за розміром, порівняно з першою.

Варіантом цього відношення є вираз «Повністю містить в собі» (*Covers*), коли друга фігура не перетинає межу першої.







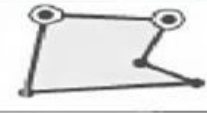

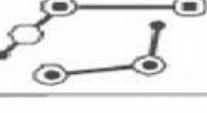



Contains	Перша фігура		
			
			
	Відношення не визначене		
	Відношення не визначене	Відношення не визначене	

Рисунок 6.2 – Співвідношення «Містить у собі» (Contains)

3. Співвідношення «Міститься в» (*Within, Inside*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо перша фігура розміщується всередині другої, до того ж жодна точка першої фігури не повинна перебувати поза другою (рис. 6.3). Співвідношення вважається невизначеним, якщо друга фігура менша за розміром порівняно першого. По суті, це відношення є протилежним щодо попереднього («Містить в собі»), тобто потрібно тільки поміняти місцями аргументи відношень.

Варіантом цього відношення є «Повністю міститься в» (*Covered By*), коли перша фігура не перетинає межу другої.



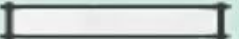




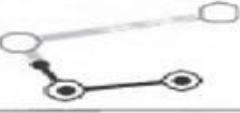




Within	Перша фігура		
			
		Відношення не визначене	Відношення не визначене
			Відношення не визначене
			

Рисунок 6.3 – Співвідношення «Міститься в» (Within)

4. Співвідношення «Перетинається з» (*Crosses*) можливе тільки між лінійними і площинними об'єктами, при цьому хоча б одна фігура повинна бути лінією.

Якщо обидві фігури є майданними, то таке співвідношення називається «Накладається на». Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони мають спільні точки, тобто дві лінії повинні мати точку перетину, а лінія й полігон мають перетинатися за деякою лінією (рис. 6.4).


Crosses	Перша фігура		
			
	Відношення не визначене	Відношення не визначене	Відношення не визначене
	Відношення не визначене		
	Відношення не визначене		Відношення не визначене

Рисунок 6.4 – Співвідношення «Перетинається з» (Crosses)

6. Співвідношення «Відокремлена від» (*Disjoint*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони не мають спільних точок (рис. 6.5).

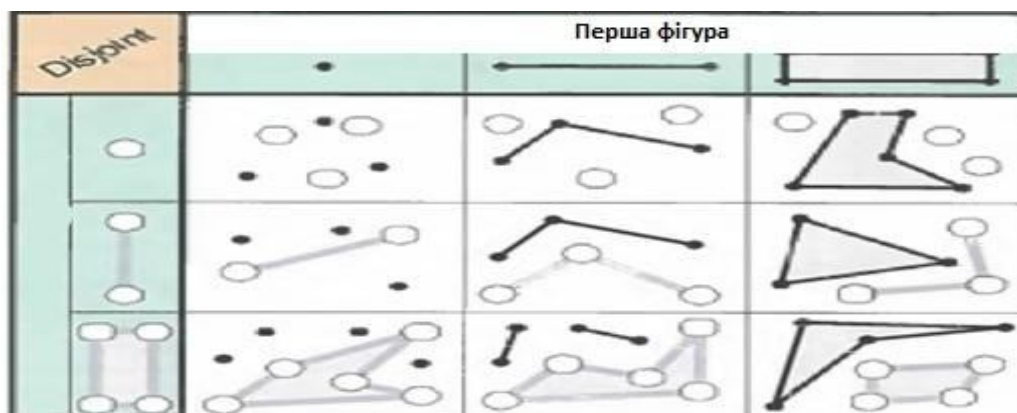


Рисунок 6.5 – Співвідношення «Відокремлена від» (*Disjoint*)

7. Співвідношення «Перекривається з» (*Overlaps*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо область перетину цих фігур має ту саму розмірність, що й самі фігури, тобто ці фігури мають спільні внутрішні точки (рис. 6.6). Співвідношення визначається тільки для фігур, що мають однакові розміри.

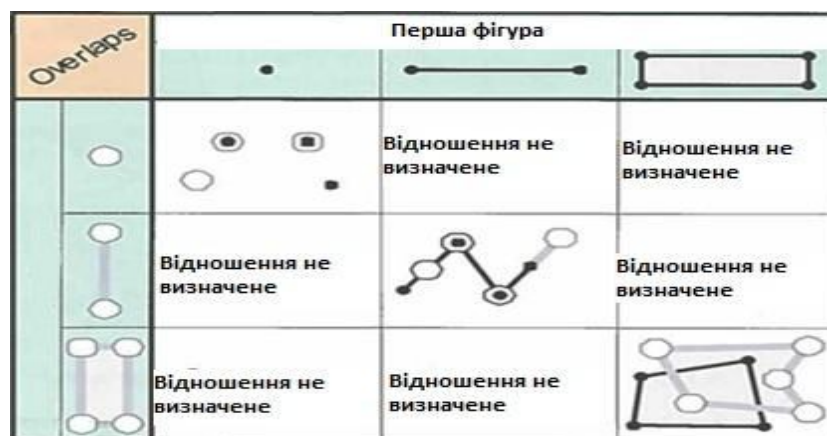


Рисунок 6.6 – Співвідношення «Перекривається з» (*Overlaps*)

7. Співвідношення «Межує з» (*Touches*). Дві фігури перебувають у цьому відношенні, якщо вони з'єднуються тільки своїми межами, а не внутрішніми областями, тобто ламані можуть поєднуватися тільки своїми вершинами, а полігони – контурами (рис. 6.7). Співвідношення не визначається тільки для двох точкових фігур.

Touches		Перша фігура		
		•	—	▭
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></div> </div>	Отношение не определено			

Рисунок 6.7 – Співвідношення «Межує з» (Touches)

8. Співвідношення «Торкається» (*Any Interacts*). Дві фігури перебувають в цьому відношенні, якщо вони мають спільні точки (рис. 6.8).

Crosses		Перша фігура		
		•	—	▭
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 10px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></div> </div>				

Рисунок 6.8 – Співвідношення «Торкається» (Any Interacts)

Крім бінарних, відомі й інші відношення, наприклад – тернарне (аргументами є дві фігури і деякий параметр) «На відстані» (*Distance*). У різних варіантах цього відношення відстань між найближчими точками двох фігур має позначатися так: «дорівнює», «менше», «більше», «не більше» або «менше» заданої величини.

Як було зазначено, під час пошукових запитів із заданого набору даних виокремлюються всі фігури, що перебувають у деякому бінарному співвідношенні із вказаною фігурою. Зазвичай на практиці використовуються такі різновиди запитів (особливо при інтерактивному позначенні об'єктів на карті):

1. *Пошук фігур*, вкладених у заданий прямокутник, коло або довільний багатокутник. Знайдені об'єкти повинні повністю поміщатися всередині заданої фігури.

2. *Пошук фігур, що перетинаються* із заданим прямокутником, колом або довільним багатокутником. Знайдені фігури повинні повністю або хоча б частково поміщатися всередині заданої фігури.

Зазначимо, що з усіх можливих *операцій поєднання* здебільшого використовують такі:

1. *Пошук усіх пар вкладених багатокутників* із двох множин багатокутників за умови, що багатокутник першої множини має увійти в багатокутник другої.

2. *Пошук усіх пар багатокутників, що перетинаються*, із двох множин багатокутників, якщо багатокутник першої множини перетинається з деякими багатокутниками другої.

Зазначимо, що відношення фігур перевіряються з деякою заданою величиною допуску, до того ж точки, координати яких відрізняються на величину, меншу заданого допуску, вважаються співпадними.

6.2.2 Відсікання й розрізання

Операція відсікання забезпечує видалення частини просторового об'єкта, що розташовується поза областю відсікання. До того ж частини, що розміщуються на межі області відсікання потрапляють всередину цієї області, а тому не відсікаються. Областю відсікання може вважатися будь-який площинний об'єкт, хоча зазвичай використовуються прямокутники й одноконтурні багатокутники, зрідка – довільні багатоконтурні багатокутники й кола.

Операція відсікання може застосовуватися щодо просторових об'єктів будь-якої розмірності. Якщо вихідний об'єкт міститься в області відсікання, то під час операції вихідний об'єкт повертається без змін. Інакше, із відсіканням деяких частин вихідного, створюється новий просторовий об'єкт, який повністю вміщується в області відсікання. До того ж при відсіканні від об'єкта може взагалі нічого не залишитися, а тому операція відсікання закінчиться поверненням порожнього об'єкта. Якщо новий об'єкт буде меншим за розміром порівняно з вихідним, то операція відсікання закінчиться так само. Інакше внаслідок операції відсікання отримаємо новий об'єкт, що за розмірами буде співпадати з вихідним.

На рисунку 6.9 подано приклад виконання операції відсікання для фігур різного виду. Як 0-мірні (точкові) об'єкти використовується мультиточка – фігура, що складається з декількох точок.

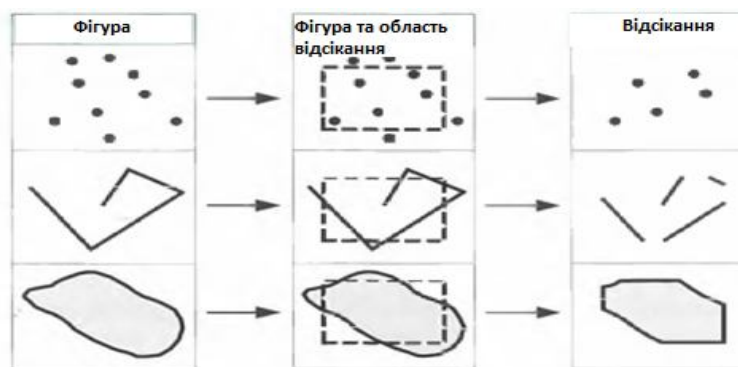


Рисунок 6.9 – Операція відсікання просторових об’єктів

У ГІС операція відсікання зазвичай здійснюється так. Користувач виділяє деякі об’єкти на карті й обирає команду відсікання. ГІС пропонує користувачеві інтерактивно вказати на карті область відсікання (прямокутник, багатокутник, окружність), після чого ГІС відсікає частини виділених фігур, що розташовуються поза заданою областю.

Операція розрізання багато чим схожа на відсікання. Ця операція забезпечує розрізання деякого лінійного або площинного об’єкта уздовж заданої ламаної, яка не повинна самоперетинатися. Результатом операції розрізання є *відрізки зліва й справа* – частини вихідного об’єкта, що опинилися по різні боки від лінії розрізу (рис. 6.10).

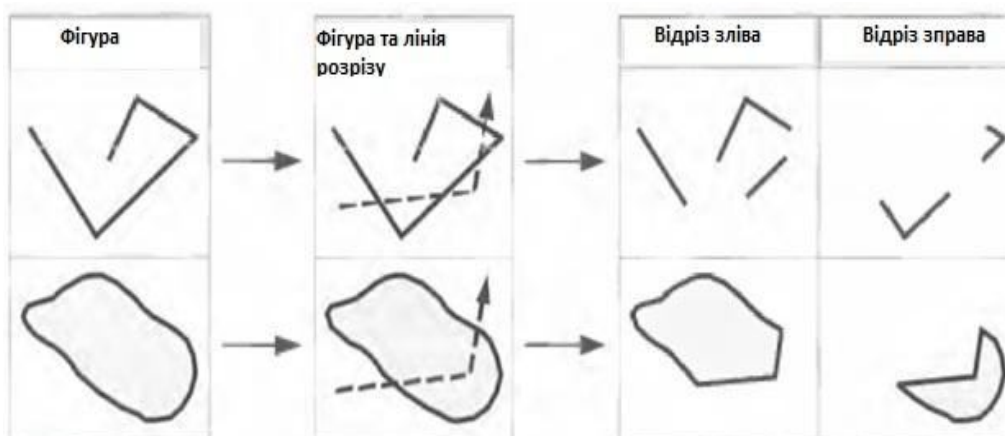


Рисунок 6.10 – Операція розрізання просторових об’єктів

У ГІС операція розрізання зазвичай здійснюється так. Користувач виділяє деякі об’єкти на карті й обирає команду відсікання. ГІС пропонує користувачеві інтерактивно вказати на карті ламану розрізання, після чого виділені фігури ГІС розрізає на частини, що розташовуються ліворуч і праворуч від заданої ламаної.

6.2.3 Оверлейні операції

Оверлейні операції (*операції накладання, картографічної алгебри, алгебри карт*) дають змогу обчислити поєднання, перетин, різницю окремих просторових об'єктів або одразу дві множини об'єктів. Оверлейні операції призначені для просторових об'єктів усіх розмірностей, але в одній операції можуть використовуватися тільки однакові за розміром об'єкти. Результатом операції є новий об'єкт, однаковий за розмірами із вихідними об'єктами, або порожня множина. Іноді внаслідок формального виконання правил оверлейних операцій можуть виникати фігури, менші за розмірами порівняно з вихідними (наприклад область перетину двох межевин фігур є лінією або точкою), але такі фігури не використовуються, вважається, що операція приводить до отримання порожньої множини. Результатом *операції об'єднання* двох просторових об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать хоча б одному вихідному об'єкту (рис. 6.11).

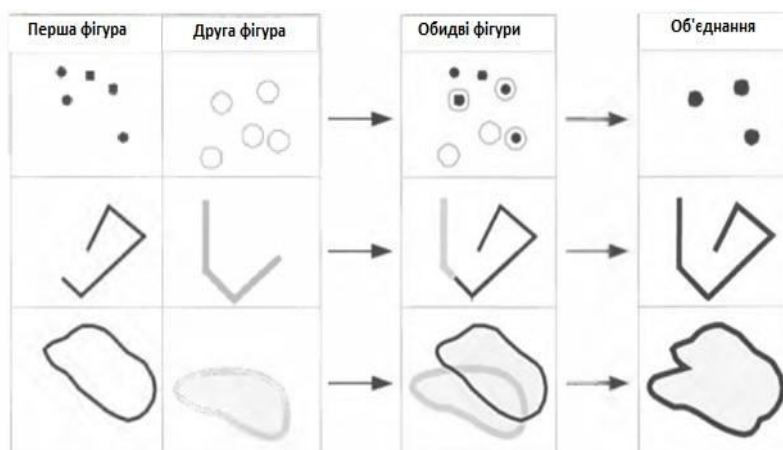


Рисунок 6.11 – Операція об'єднання просторових об'єктів

Результатом *операції перетину* двох просторових об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать обом вихідним об'єктам (рис. 6.12).

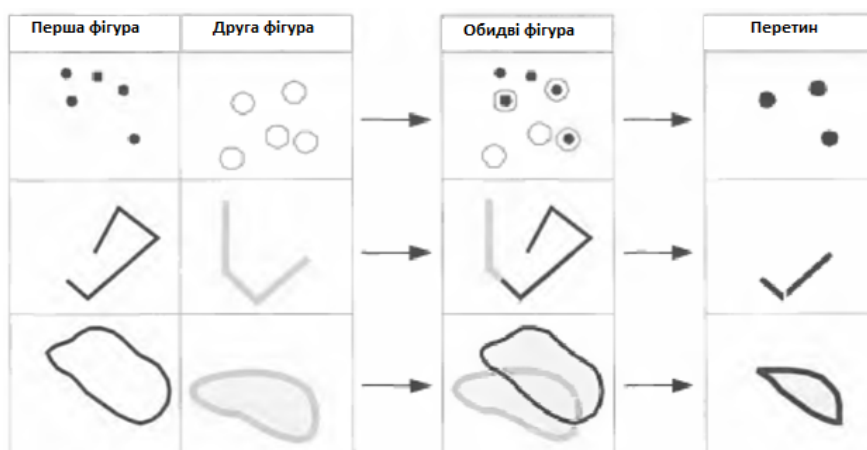


Рисунок 6.12 – Операція перетину просторових об'єктів

Результатом *операції різниці* двох просторових об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать першому об'єкту, але не належить другому (рис. 6.13).

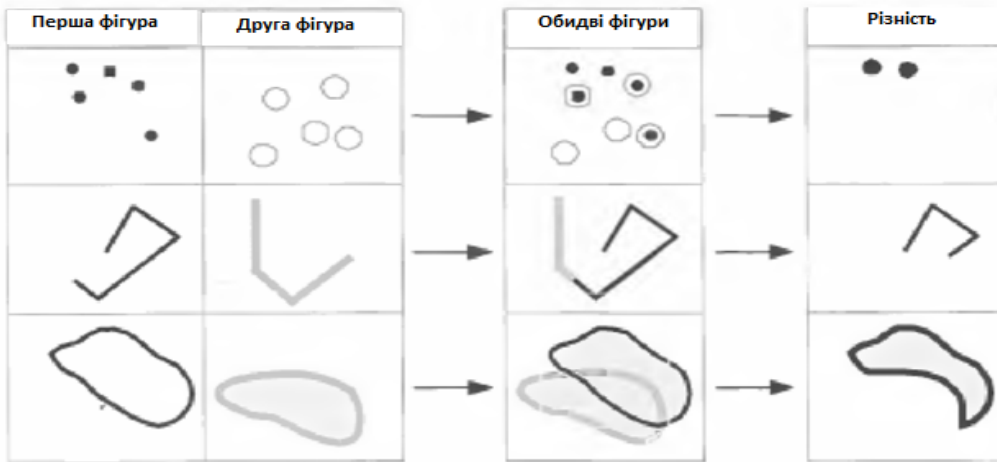


Рисунок 6.13 – Операція різниці просторових об'єктів

Результатом *операції симетричної різниці* двох об'єктів є об'єкт, що складається з усіх точок площини, які належать першому або другому об'єкту, але не обом одразу (рис. 6.14).

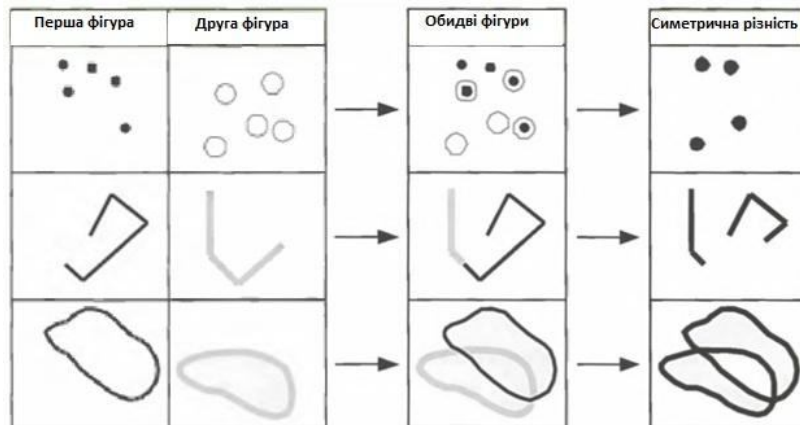


Рисунок 6.14 – Операція симетричної різниці просторових об'єктів

Операції побудови об'єднання, перетину й різниці ліній і багатокутників містяться в багатьох графічних програмах, які не належать до ГІС. Однак в ГІС ми використовуємо справу не просто геометричні фігури, а просторові об'єкти, які крім геометричного складника мають ще й атрибути. Саме тому після виконання оверлеїв нові об'єкти будуть мати атрибути, значення яких сформується на підставі вихідних об'єктів. Новий набір атрибутів зазвичай є об'єднанням наборів атрибутів вихідних об'єктів. При цьому значення нових

атрибутів визначаються на підставі значень вихідних атрибутів за допомогою одного одним з двох таких способів:

1. *Значення атрибута копіюється з вихідного об'єкта.* Якщо цей атрибут був в обох вихідних об'єктах, то обирається атрибут з того об'єкта, площа якого більша. Такий спосіб використовується, якщо в атрибуті зберігаються не числа (наприклад рядки, дата, час, логічні значення) або числа, які не мають безперервну інтерпретацію (наприклад код типу земельних угідь).

2. *Значення атрибута змінюється пропорційно до змінювання площі нового об'єкта стосовно вихідного об'єкта.*

6.2.4 Буферні зони, оболонки, зони близькості

Буферна зона навколо фігури F – це найбільша область на карті, усі точки всередині якої віддалені від F не більше ніж на задану відстань L (рис. 6.15). Під час побудови в ГІС буферних зон відстань L може бути задана заздалегідь або обчислюватися для кожного об'єкта окремо на підставі його атрибутів. Деякі ГІС дають змогу за один раз побудувати для кожного об'єкта не одну, а одразу декілька *кільцевих буферних зон*. Наприклад, вказавши, що $L=15$ і задавши умову, за якою потрібно побудувати по три зони, будуть створені три області. У першій із них відстань l від будь-якої точки до вихідного об'єкта буде $0 < l < 5$, у другій $5 < l < 10$, а в третій $10 < l < 15$.

Буферні зони використовуються в геоінформатиці, наприклад, для моделювання смуг відведення вздовж доріг, санітарних зон навколо річок і озер, охоронних зон уздовж ліній газопроводів і ліній електропередач, оцінки сфер несприятливого впливу на людину навколо різних джерел.

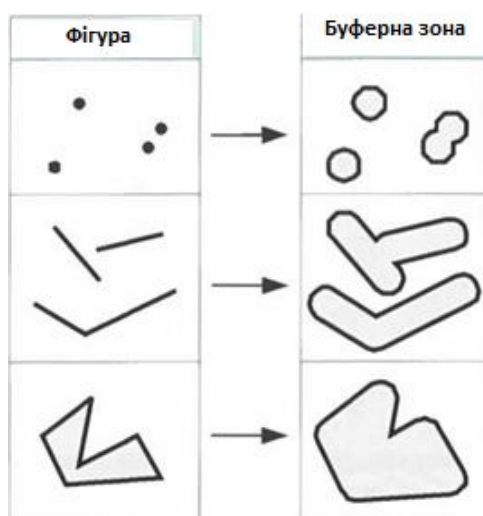


Рисунок 6.15 – Операція побудови буферної зони

Опукла оболонка безлічі об'єктів P – це найменша опукла область на карті, яка містить всі об'єкти P (рис. 6.16). Оболонка може бути побудована за об'єктами будь-якої розмірності, але результатом у ГІС завжди буде полігон.

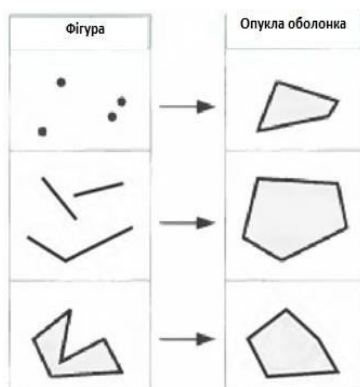


Рисунок 6.16 – Операція побудови опуклої оболонки

У задачі побудови зон близькості потрібно знайти всі точки площини, для яких відстань до заданої множини об'єктів $\{a\}$ є мінімальною. У разі, якщо всі об'єкти є точками, уся задача є задачею побудови *діаграм Вороного* (рис. 6.17).

Операція побудови зон близькості може використовуватися, наприклад, для знаходження зон якнайшвидшого обслуговування (зон близькості) із заданих базових пунктів. Нехай, наприклад, в деяких точках на території регіону розташовані аеродроми з пожежними гвинтокрилами. У разі виникнення лісової пожежі по заданих точках його локалізації визначимо зону близькості, а отже і те, який гвинтокрил найшвидше зможе долетіти до місця пожежі.

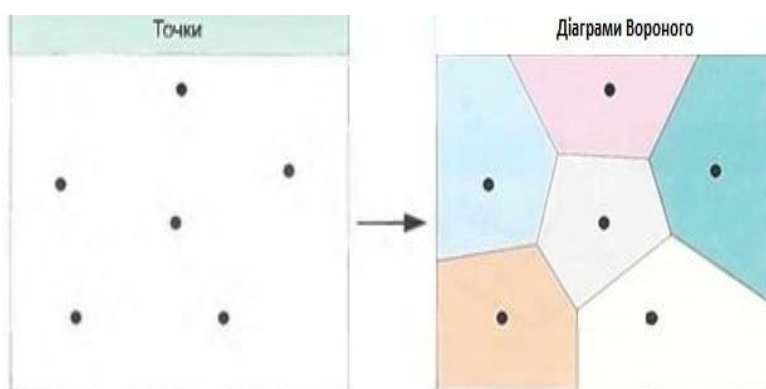


Рисунок 6.17 – Операція побудови діаграм Вороного (побудова зон близькості для точкових об'єктів)

Наведений приклад передбачає однакову швидкість переміщення гвинтокрилів, але в дійсності вони можуть відрізнятися, можуть відрізнятися і питомі витрати на переміщення.

В операції побудови *зважених зон близькості* потрібно визначити всі точки площини, для яких відстань до заданої множини об'єктів $\{a\}$, помножене на ваги, є мінімальним.

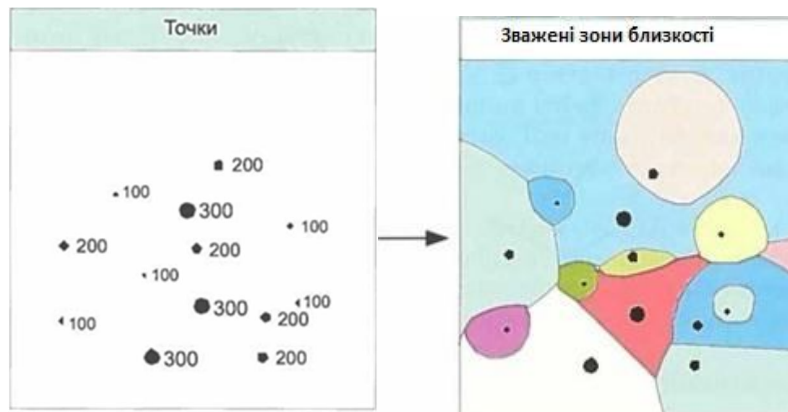


Рисунок 6.18 – Операція побудови зважених зон близькості

Для нашого прикладу вкажемо швидкості польоту гвинтокрилів як вагу. Отримані зважені зони близькості наведено на рисунку 6.18.

6.2.5 Генералізація

Під терміном *генералізація* в геоінформатиці розуміють набір операцій узагальнення, призначених для відображення просторових даних відповідно до заданих масштабу, змісту й тематики карти. У найрозповсюдженішому випадку генералізація приведе до зменшення кількості і спрощення складу просторових об'єктів при заданому зменшенні масштабу карти (рис. 6.19).

Розглянемо головні операції генералізації при роботі з векторними об'єктами. Одразу зазначимо, що не всі з наведених нижче операцій реалізовані в сучасних ГІС, тому що багато операцій чітко не формалізовані й не можуть бути алгоритмізовані.

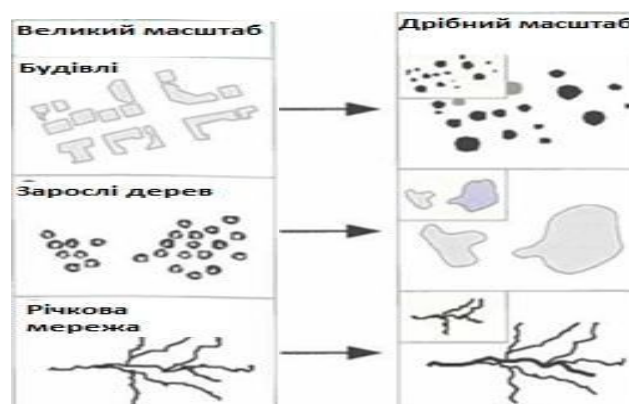


Рисунок 6.19 – Операція генералізації

Саме тому процес генералізації в ГІС, як і раніше, потребує творчої інтерактивної роботи користувача (рис. 6.19).

1. *Спрощення*. Ця операція змінює внутрішню геометричну структуру лінії або полігону, видаляючи деякі точки (наприклад ті, що майже збігаються, а також послідовні, що розміщуються майже на одній прямій) виходячи із заданого геометричного критерію.

2. *Згладжування*. Ця операція змінює деякі точки ліній і меж полігонів з метою усунення дрібних порушень і виділення найбільш значущих тенденцій змінювання фігури.

3. *Зсування об'єктів*. Ця операція незначно (в межах заданої величини) переміщує цілі об'єкти з метою унеможливлення їхнього злиття або накладання об'єктів у разі зменшення масштабу.

4. *Чищення* (видалення дрібних об'єктів). Ця операція видаляє лінійні й площинні об'єкти, розміри яких менші за деякий встановлений мінімум (рис. 6.20).

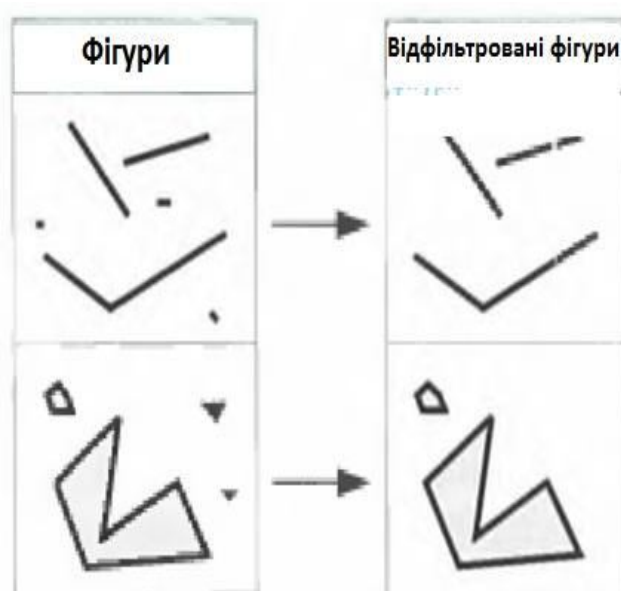


Рисунок 6.20 – Операція видалення дрібних об'єктів

5. *Адаптивне чищення*. Ця операція видаляє з карти будь-які за розмірами об'єкти, які накладаються один на один і відзначаються найнижчим ступенем «важливості». Ця операція реалізується за допомогою «жадібного» алгоритму. Спочатку всім об'єктам, які дозволено видаляти, присвоюється певний рівень значущості (важливості), і всі ці об'єкти сортуються в порядку зменшення значущості. Потім об'єкти по чергові розміщуються на площині починаючи з найважливішого. Якщо зображення наступного об'єкта, що додається на карту, зливається з раніше розміщеними об'єктами, то такий об'єкт відкидається.

6. *Злиття близьких і межових об'єктів*. Ця операція зменшує загальну кількість об'єктів на карті шляхом об'єднання близьких фігур. Об'єднувати

можна тільки ті фігури, які межують одна з одною (рис. 6.19) або які розташовані досить близько одна до одної (наприклад дві паралельні дороги).

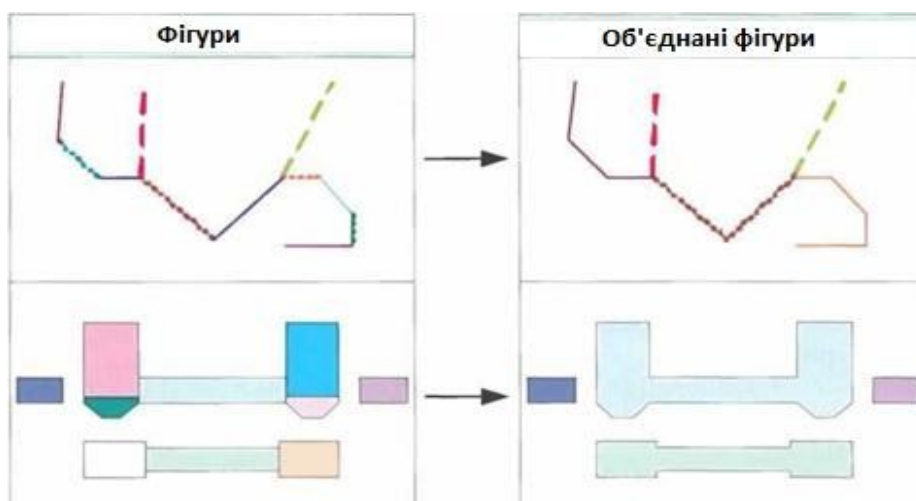


Рисунок 6.21 – Операція об'єднання межових фігур

7. *Зниження розмірності.* Ця операція замінює маленькі багатокутники лініями або точками, а маленькі лінії – точками (див. рис. 6.19). Наприклад, на великомасштабній карті населені пункти й озера можуть зображуватися контурами, а на дрібній карті – точками. На великій карті річки зазвичай зображуються як області з кордонами по лініях урізання води, а на дрібних картах – як осьові лінії. На великій карті мости й тунелі на автомобільній дорозі можуть бути зображені у вигляді ліній, які є частиною дороги, а на дрібномасштабних картах – у вигляді точок на осьовій лінії дороги.

8. *Оконтурування груп окремих об'єктів.* Ця операція застосовується, наприклад, для заміни множини окремих дерев на області, що позначаються як парки або зелені насадження (див. рис. 6.19).

9. *Коригування (текстурування).* Ця операція призначена для нанесення деяких додаткових точок у лінії й полігони для надання фігурам натуральності. Наприклад, річка може бути зображена на карті гладкою осьовою лінією, однак при цьому ми усвідомлюємо, що насправді річка дуже звивиста, але ці звивини зовсім не видно в масштабі карти. Такі невеликі звивини можна створити за допомогою цієї команди.

Розглянемо деякі аспекти генералізації об'єктів, поданих в інших моделях даних.

Генералізація растрових даних зазвичай зводиться тільки до зменшення розміру растру й інтерполяції значень пікселів нового растру на підставі вихідного. Наприклад, при зменшенні розміру растру по висоті й ширині в чотири рази кожен новий піксель має обчислюватися на підставі значень 16 вихідних.

Якщо у вихідному растрі в пікселях зберігаються числові безперервні дані, то значення пікселів у новому растрі усереднюються на підставі вихідних значень. У решті випадків зазвичай обирається те значення, яке найчастіше подається в початкових пікселях.

Унаслідок генералізації триангуляційних поверхонь будується нова поверхня з меншою кількістю вузлів триангуляції, яка відрізняється від вихідної поверхні не більше ніж на задану величину. У процесі генералізації поверхні можуть виконуватися три різновиди спрощень: видалення вузлів, заміна коротких ребер і невеликих трикутників триангуляції одним вузлом.

6.2.6 Застосування операцій векторного аналізу

Для демонстрації можливостей просторового аналізу розглянемо, наприклад, таку задачу. У певному районі міста вирішили побудувати нову школу. За допомогою оверлейних операцій і операцій побудови буферних зон можна визначити потенційні місця, де можливо здійснювати будівництво.

Спочатку визначимо місця, де взагалі може проводитися будівництво в районі міста. Для цього оберемо багатокутник, що оконтурює район міста, і вилучимо з нього всі дороги.

Потім визначимо всі області, у яких заборонено розміщувати дитячі установи через близькість їх до промислових об'єктів. Для цього оберемо шар даних із заводами й побудуємо для нього буферну зону завширшки 500 м. Вилучимо з області дозволеного будівництва цю буферну зону.

Тепер залишилося розмістити в області школу, урахувавши її близькість до місць проживання учнів. Для цього усереднимо координати всіх житлових будинків щодо їхньої значущості за кількістю мешканців у будинках і отримаємо місце, яке в середньому є найближчим.

6.3 Геостатистика

Геостатистика – це розділ математичної статистики, який досліджує явища, що розподіляються територіально, тобто різниця полягає в тому, що класична статистика здебільшого оперує з випадковими величинами, тоді як в геостатистиці передбачається, що всі випадкові події співвідносяться з деякими координатами на площині або в просторі.

Геостатистика забезпечує аналіз розподілу випадкових величин по території Землі, а що найважливіше, – дає змогу передбачити, яким буде

значення цих величин у нових місцях, а також визначити причини такого розподілу відповідно до інших просторово розподілених випадкових величин.

У наш час геостатистика використовується в найрізноманітніших сферах:

1. У *геології* – для передбачення рівня залягання і обсягу нафтогазоносних і інших шарів. Припустимо, відомо дані щодо буріння в декількох точках на поверхні Землі. Використовуючи методи геостатистики, можна передбачити рівень ґрунтових вод, а також глибину залягання й товщину геологічних пластів у будь-якій точці.

2. У *екології* – для аналізу рівня забруднення навколишнього середовища. Наприклад, виконавши заміри рівня шуму й забруднення СО в достатній кількості точок уздовж деякої дороги або в місті, можна визначити стан забруднення дороги й міста загалом. Співставивши ці результати в ГІС із розміщенням на карті міста промислових та інших об'єктів, можна визначити головні джерела забруднень.

3. У *метеорології* – для прогнозування погоди. Отримуючи дані метеорологічних постів про температуру, тиск, силу та напрям вітру, можна з певною точністю визначити ці величини і в інших місцях.

4. У *медицині* – для аналізу різноманітних захворювань. Отримавши дані про захворювання в різних районах міста або в різних населених пунктах, можна відновити загальну картину розподілу захворювань по всьому місту або регіону. Зіставивши цю картину на карті з іншими просторовими даними, можна визначити причини хвороб і розробити необхідні заходи.

5. У *соціології* – для аналізу регіонального розподілу різноманітних величин і визначення їхніх причин.

6. У *демографії* – для аналізу народжуваності, смертності, міграції населення та пошуку їхніх причин.

З погляду ГІС вихідними даними для геостатистики є точкові об'єкти, для яких в атрибутах вказані деякі значення. На їхній підставі можна побудувати деяке «поле даних» – тривимірну поверхню, апроксимуючий розподіл цих випадкових величин по всій аналізованій території. Отримане поле значень можна використовувати для передбачення значень випадкових величин у нових точках, а також виконання кореляційного аналізу порівняно з іншими просторовими величинами.

У геостатистиці використовується декілька головних методів, що умовно поділяються на детерміністичні й стохастичні. Детерміністичні методи включають *метод інверсійних відстаней, глобальний і поліноміальний методи*. До стохастичних належать метод *функцій із радіального базого*, а також найпотужніші методи *кригінгу й кокригінгу*.

У наш час тільки деякі ГІС містять функції геостатистичного аналізу. Раніше геостатистика застосовувалася здебільшого в геологічних додатках, а тому в ГІС загального призначення таких функцій не було. На сьогодні ситуація змінилася. Існує ряд інших програмних пакетів, які використовуються одночасно з ГІС і мають потужні засоби геостатистики.

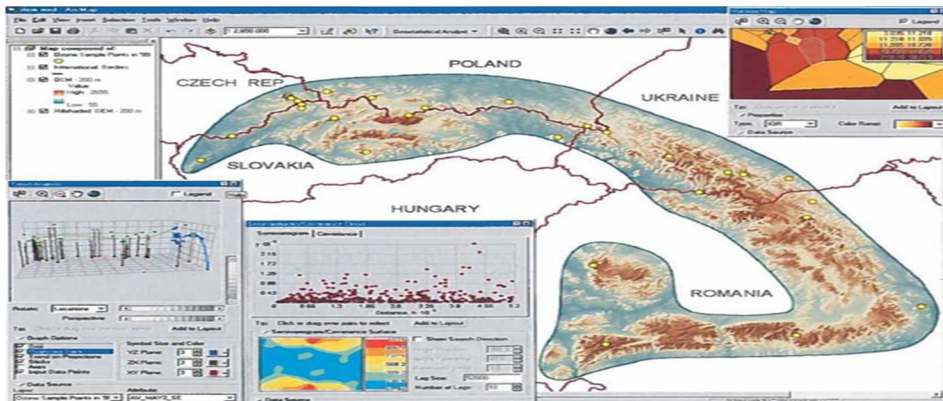


Рисунок 6.22 – Застосування модуля ArcGIS Geostatistical Analyst для моніторингу озонових дірок у Європі в гірських районах Карпат

Геостатистичні функції зазвичай містяться в системах обробки ДДЗ, таких як ERDAS Imagine, Idrisi 32, ER Mapper тощо. Серед широко розповсюджених універсальних ГІС найбільше геостатистичних функцій має ArcGIS 8.x/9.x, у якій для цього є спеціальний модуль Geostatistical Analyst (рис. 6.22).

6.4 Мережний аналіз

На підставі розміщення транспортних мереж у ГІС можна вирішувати різноманітні завдання, об'єднані під загальною назвою «мережний аналіз»:

1. Пошук найкоротшого за часом або відстанню маршруту між двома заданими вузлами транспортної мережі (рис. 6.23). Пошук необхідно проводити з урахуванням часу проходження по дугах, часу виконання поворотів у вузлах, а також з урахуванням допустимого напрямку руху в дугах.



Рисунок 6.23 – Приклад пошуку найкоротшого маршруту між заданими пунктами в IndorGIS 5.2

2. *Пошук найкоротшого обходу* заданого набору пунктів (завдання комівояжера). У цьому завданні між кожною парою заданих пунктів спочатку визначають найкоротший маршрут пересування, а потім вирішується математичне завдання комівояжера, перебираючи різні варіанти порядку обходу цих пунктів (рис. 6.24).

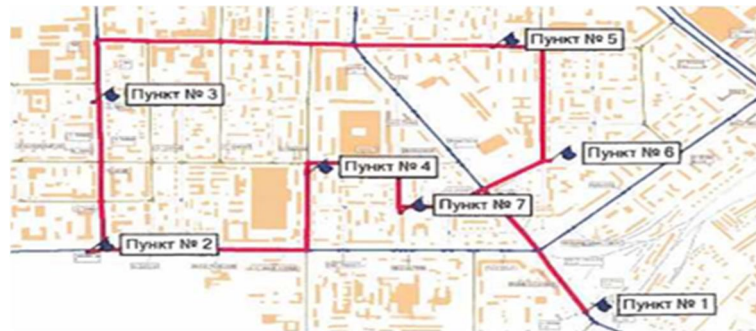


Рисунок 6.24 – Приклад пошуку найкоротшого обходу заданих пунктів в IndorGIS 5.2

3. *Пошук найближчих пунктів обслуговування*. Передбачається, що на карті проставлено точковий шар з деякими пунктами обслуговування, наприклад, автозаправними станціями або магазинами. У цьому завданні для заданої точки на площині необхідно визначити декілька найближчих пунктів обслуговування (рис. 6.25).

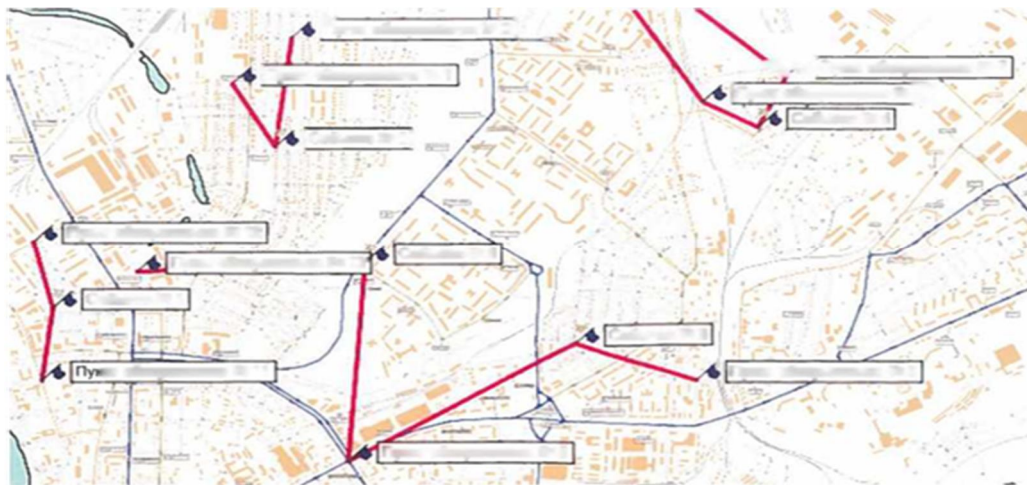


Рисунок 6.25 – Приклад пошуку найближчих пунктів обслуговування в IndorGIS 5.2

4. *Розрахування зон обслуговування*. Як і для попереднього завдання, передбачається, що на карті проставлено точковий шар із деякими пунктами обслуговування, наприклад автозаправними станціями або магазинами. Необхідно розбити всю карту на непересічні частини, кожна з яких буде

відповідати одному пункту обслуговування, який є найближчим для будь-якої точки всередині отриманої частини (рис. 6.26).

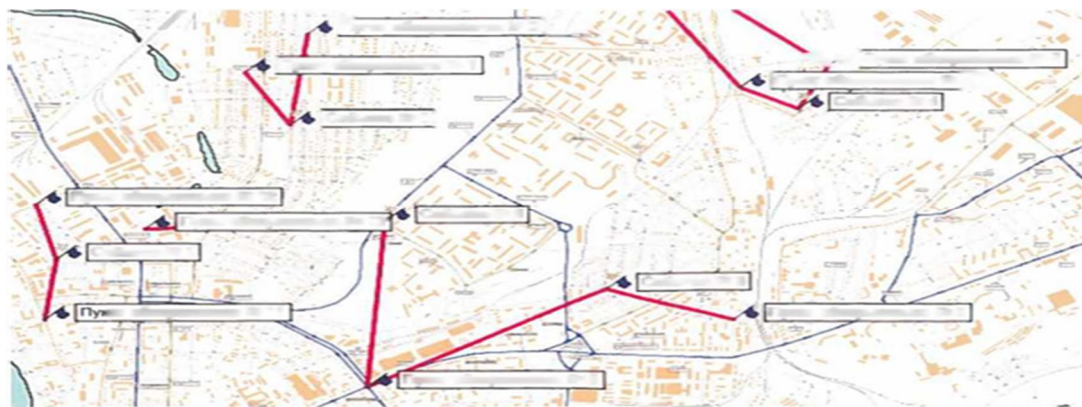


Рисунок 6.26 – Приклад розрахування зон обслуговування в IndorGIS 5.2

5. *Розрахування транспортної доступності.* У цьому завданні передбачається, що на карті задано два точкових шари: один з аналізованими об'єктами (наприклад населеними пунктами на карті області), а інший – із деякими обслуговуючими об'єктами (наприклад районними центрами у областях). Для кожного населеного пункту необхідно визначити мінімальний час, протягом якого з нього можна доїхати до районного центру, або вказати, що проїзду немає.

6. *Розрахування міжрайонних транспортних зв'язків.* Це завдання передбачає, що територія міста або регіону розбита на деякі транспортні райони (групи кварталів у місті або окремі поселення), щодо яких необхідно встановити ступінь їхньої залежності одне від одного і рівень транспортної забезпеченості районів відповідно до деякого різновиду пересування, спричиненого цією залежністю.

Ступінь залежності районів визначається на підставі їхніх *можливостей* і *привабливості*, а також *транспортних зв'язків* між районами.

При розрахуванні *трудових переміщень* до можливостей районів належить показник кількості працездатного населення, а привабливості – кількість робочих місць. Наприклад, при розрахуванні *культурно-побутових переміщень із дому* можливостями районів вважається кількість мешканців, а привабливості – обсяг послуг, що надаються районом за одиницю часу (цей обсяг включає середню кількість проданих квитків у всіх кінотеатрах, театрах, музеях, концертних залах, на стадіонах; кількість і площа магазинів, перукарень, аптек, пунктів ремонту тощо). При *розрахуванні культурно-побутових переміщень не з будинку* (із роботи) привабливість має бути такого самого, а можливостями вважається кількість робочих місць.

Транспортний зв'язок між кожною парою районів визначається за транспортною мережею як мінімальний час, необхідний для переміщення між районами. До того ж у місті розрахунок зазвичай ведеться по мережі маршрутного транспорту, а при розрахуванні на рівні регіонів – по загальній мережі автомобільних доріг.

Розрахування транспортних зв'язків між районами проводиться на підставі *моделі кореспонденцій*, яка передбачає, що чим більше часу потрібно людині, щоб дістатися з одного району в інший, тим менш привабливим є цей район. Наприклад, більшість людей обирають місце роботи поблизу від місця проживання, а тільки менша кількість – на віддалі.

Унаслідок розрахування транспортних зв'язків отримуємо матрицю, що показує загальну кількість осіб, які в середньому переміщуються з одного району в інший відповідно до обраного різновиду пересування (наприклад, скільки часу витрачає людина для поїздки на роботу в певний район). Крім того, для кожного району визначається, скільки в середньому часу витрачає один мешканець району на ці поїздки. Такі середні величини характеризують якість транспортної забезпеченості району.

Зазначимо, що за допомогою методу кореспонденцій можна також розрахувати обсяги вантажних перевезень.

7. *Розрахування транспортних потоків.* У цьому завданні передбачається, що транспортні зв'язки між районами (обчислені або виміряні) відомі і потрібно визначити, по яких саме дорогах будуть пересуватися автомобілі й пасажери. Для цього на підставі відомого обсягу перевезень між транспортними районами визначається декілька найкоротших маршрутів, а також кількість машин, що поїдуть по певній ділянці дороги.



Рисунок 6.27 – Картограма транспортних потоків

Результат зазвичай відображають на карті у вигляді картограм потоків (рис. 6.27).

6.5 Аналіз поверхонь

У цьому розділі буде розглянуто набір операцій, що забезпечують (уможливлюють) виконання аналізу поверхонь, використовуваних у ГІС як моделі рельєфу й поданих у вигляді регулярної або триангуляційної мереж.

1. *Інтерполяція висот*. Ця операція дає змогу обчислити значення висоти поверхні для будь-якої заданої планової точки.

2. *Побудова профілів*. Ця операція забезпечує побудову повздовжнього вертикального розрізу уздовж деякої заданої лінії. Додатково при відображенні профілю можна задати ступінь його розтягування по вертикалі.

3. *Побудова горизонталей (ізоліній)*. За допомогою цієї операції будуються *ізолінії* – лінії однакового рівня (див. п. 5.6., рис. 5.23, а). Результат зберігається у векторній моделі даних у вигляді поліліній. Ізолінії можна також розглядати як переріз поверхні горизонтальною площиною, розташованою на заданій висоті.

4. *Побудова ізоконтурів*. Ця операція забезпечує побудову *ізоконтурів* – області між ізолініями суміжного рівня (див. п. 5.6). Результат зберігається у векторній моделі даних у вигляді полігонів.

5. *Побудова ізоклінів*. Відбудовуються операція будує ізокліни – лінії з однаковим нахилом (див. п. 5.6). Результат зберігається у векторній моделі даних у вигляді поліліній. Варіантом цієї операції є побудова *ізоклінів* у вигляді контурів, які утворюються як області між суміжними ізоклінами.

6. *Розрахування експозицій нахилів*. Обчислюються нормалі до кожного елемента поверхні і визначається, у який бік щодо світла повернута нормаль. Результат відображається на карті різними кольорами (див. п. 5.6).

7. *Розрахування обсягів земляних робіт*. Ця операція передбачає, що є модель певного рельєфу і задано, якої форми має набути цей рельєф. Потрібно визначити обсяг ґрунту, який потрібно перемістити для отримання проектованого рельєфу.

Проста постановка цієї задачі передбачає, що потрібно вирівняти дно копання, заданого у вигляді багатокутника, до заданої висотної позначки.

Інша (складніша) постановка передбачає необхідність створення другої моделі рельєфу. До того ж потрібно обчислити різницю між наявною і проектованою поверхнями. Результатом обчислень є деяка нова поверхня (яку вже не можна вважати рельєфом).

8. *Аналіз видимості*. Ця операція визначає, які області на карті видно з заданої в тривимірному просторі точки. Результат видається на карті як області, із яких видно зазначену точку. На рисунку 6.31 подано приклад розрахування зон видимості.

У деяких випадках ця задача розв'язується тільки для деякої однієї окремо взятої прямої. Наприклад, такою вважається видимість автомобільної дороги з автомобіля. Як для огляду обирається точка над дорогою на висоті 1,20 м. Результатом розрахунків є відстань, починаючи з якої дороги вже не видно.



а

б

Рисунок 6.28 – Розрахування зон видимості:

а – вихідна модель і точка спостереження на поверхні; б – зона видимості, зображена як біла область із чорним контуром

9. *Побудова мережі тальвегом і вододілів.* Ця операція призначена для аналізу форми рельєфу місцевості (рис. 6.29) й відокремлення таких структурних елементів, як лінії тальвегом і вододілів, а також особливих елементів (вершин, хребтів, ярів). Ця операція забезпечує аналіз кожної клітинки моделі поверхні і визначення напрямку, у якому буде текти вода з цієї області. Потім визначаються тальвеги – лінії, що з'єднують найнижчі точки дна річкової долини, яру, рівчака тощо. Оконтуривши всі області, що утворюють водозбір для кожної окремо взятої річки й водоймища, отримаємо лінії вододілів.

Цю операцію використовують зазвичай у гідрології під час аналізу рельєфу на дрібномасштабних картах.

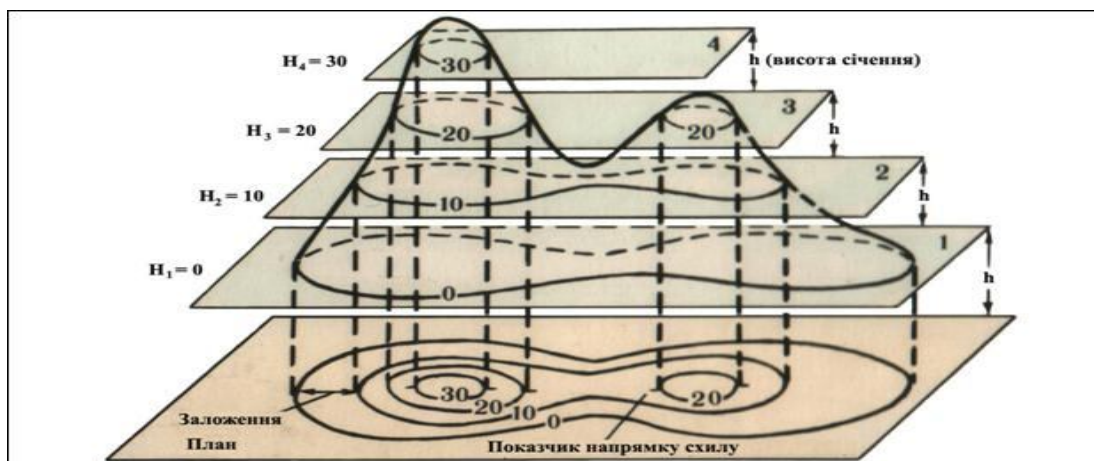


Рисунок 6.29 – Рельєф місцевості і його різні елементи

10. *Аналіз водостоку.* Ця операція призначена для аналізу рельєфу місцевості: ті в великому масштабі і визначення місць скупчення води. Для цього на місцевості спочатку визначають всі точки локального мінімуму, а потім ці місця поступово заповнюють водою доти, поки калюжі не переповняться і вода не стане переливатися через край (рис. 6.30).

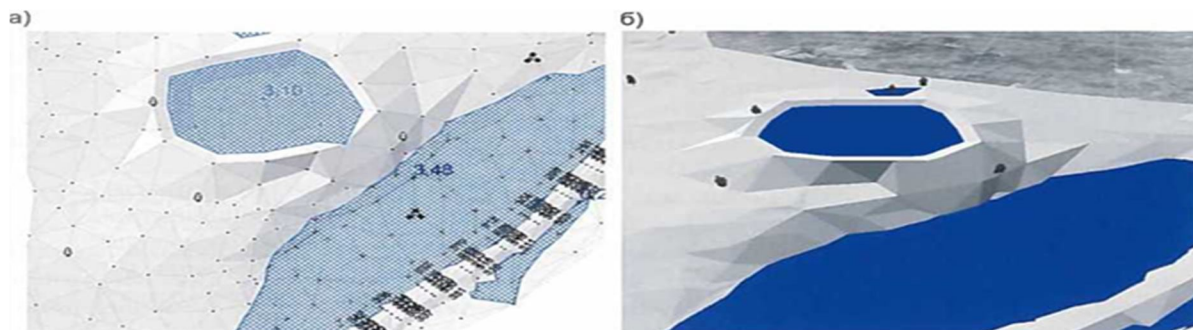


Рисунок 6.30 – Розрахування потенційних місць утворення калюж:
а – зображення калюж на плані; б – тривимірна візуалізація калюж

Цей спосіб використовується, наприклад, під час проектування автомобільних доріг і розроблення генеральних планів для визначення потенційних місць утворення калюж. Щоб унеможливити утворення калюж, необхідно перепроєктувати рельєф або запланувати встановлення в центрі цих калюж зливових колодязів.

7 ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ГІС

7.1 Ринок ГІС

На сьогодні у світі налічується безліч ГІС, що належать до розряду повнофункціональних, тобто вони забезпечені базовими функціями ГІС для створення, візуалізації та аналізу карт.

Найпотужнішими вважаються ГІС американського виробництва: ArcGIS, MapInfo, Autodesk Map, GeoMedia, ERDAS Imagine.

Серед вітчизняних розробок можна виокремити IndorGIS, Географ, Карта-2003, ІнГео, ПАРК тощо.

За загальним набором функцій вітчизняні розробки значно поступаються західним, тим не менш багато з них мають низку переваг, що сприяє їхньому успішному поширенню на українському ринку. По-перше, це набагато менша вартість, а, по-друге, відповідність українським методикам, галузевим нормам і правилам.

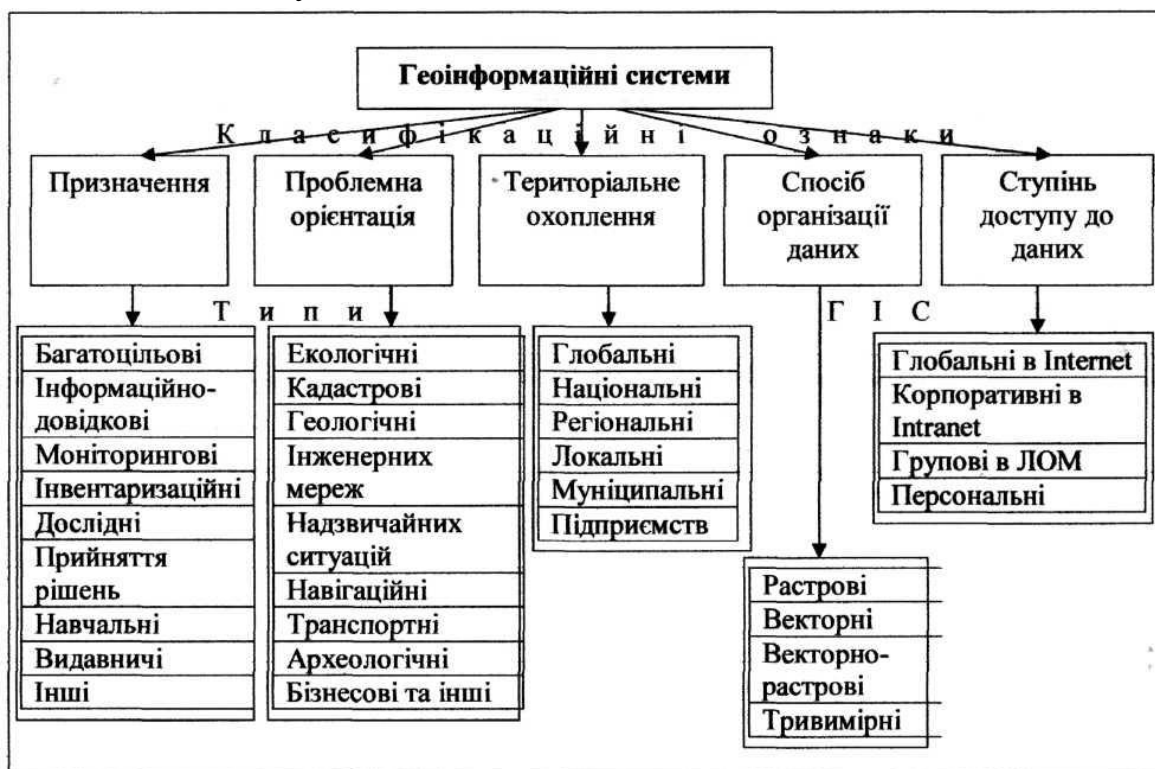
Фактично всі сучасні повнофункціональні ГІС керуються операційною системою (ОС) Windows, і тільки деякі – на інших платформах: в MS-DOS і на різноманітних Unix-клоніах. На сьогодні більшість виробників ГІС припинили виробництво ГІС для MS-DOS і Unix. Це пов'язано з тим, що MS-DOS вже застаріла, а Unix використовувалася тільки тому, що під її керівництвом працювали найпотужніші комп'ютери у світі – робочі станції, і тільки вони були здатні обробляти великі масиви просторових даних, властивих ГІС. У наш час звичайні персональні комп'ютери мають достатні для ГІС потужності, а тому майже всі сучасні ГІС орієнтовані на (ОС) Windows.

Більша частина сучасних ГІС має модульну побудову. ГІС забезпечені деяким ядром, що передбачає тільки мінімальну функціональність (відображення карт, підтримку базових моделей даних, деякі функції просторового аналізу) і уможлиблює розширення функцій, застосовуючи додаткові модулі. Як програмний інтерфейс для підімкнення модулів зазвичай використовується технологія ActiveX.

7.2 Повнофункціональні ГІС

У таблиці 7.1 наведено основні функціональні можливості найбільш поширених в Україні зарубіжних і вітчизняних ГІС. Кожна ГІС розглядається в максимальній комплектації, пропонованій виробником для продажу, тобто з усіма додатковими модулями.

Таблиця 7.1 – Функціональні можливості деяких ГІС



7.2.1 ArcGIS 9.1

Геоінформаційна система ArcGIS (остання версія 9.1, 2005) виробництва американської компанії ESRI, Inc, без жодного перебільшення, на сьогодні вважається найбільш потужною і динамічно розвитковою векторною ГІС у світі. Система ArcGIS – це великий програмний комплекс, що дає змогу вирішувати найрізноманітніші завдання. Вона складається з таких ключових програмних блоків (рис. 7.1):

1. *Настільні ГІС.* Це програми лінійки ArcGIS Desktop, що включають Arc View, ArcEditor і ArcInfo. Крім них додатково використовується ще досить простий додаток для перегляду карт ArcReader. Ці додатки базуються на загальному програмному ядрі, із основного ArcObjects – набором ActiveX-компонентів, що дає змогу вирішувати найрізноманітніші ГІС-завдання і створювати власні програмні модулі, що розширюють функціональність продуктів цієї лінійки.

2. *Серверні ГІС.* Цей блок складається з ArcGIS Server – сервера додатків, призначеного для управління програмними ГІС-об'єктами в корпоративній мережі або в Інтернеті; ArcSDE – потужного сервера просторових даних, що працює на базі багатьох сучасних комерційних СУБД, і ArcIMS – повнофункціонального сервера, що уможливорює створення й поширення карти через Інтернет.

3. *Вбудовувані ГІС.* ArcGIS Engine – це бібліотека вбудованих ГІС компонентів і інструментів, за допомогою якої незалежні розробники можуть створювати нові або розширювати будь-які наявні програми, призначені для користувача.

4. *Мобільні ГІС.* Включає програму ArcPad, що встановлюється на мобільних комп'ютерах (на базі Windows) з підтримкою GPS. Ця програма широко використовується для цілеспрямованого збору даних та іншої ГІС-інформації, їх перегляду й оновлення безпосередньо в польових умовах.

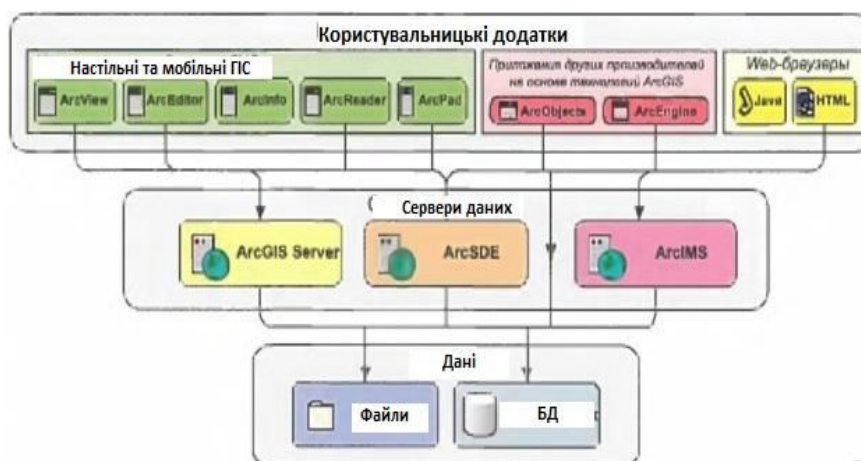


Рисунок 7.1 – Узагальнений склад програмного комплексу ArcGIS 9.1

Унаслідок підтримки різноманітних типів даних, наявності серверів просторових даних і різнофункціональних додатків система ArcGIS 9.1 характеризується прекрасною масштабністю. На її базі можна не тільки створити простий ГІС-додаток, що працює з невеликими наборами просторових даних, але й повноцінну корпоративну ГІС-систему, що працює з величезними масивами просторових даних, до яких можна звертатися як з локальної мережі, так і по Інтернету.

ГІС ArcGIS 9.1 підтримує більшість сучасних моделей просторових даних, зокрема векторні топологічні (покриття) й нетопологічні (шейп-файли), растрові моделі й нерегулярні триангуляційні мережі, а також найсучаснішу об'єктно-орієнтовану модель геобаз даних, що будується на стандартних реляційних технологіях баз даних.

Усі програмні продукти лінійки ArcGIS Desktop (варіанти комплектації Arc View, ArcEditor і ArcInfo) складаються з трьох взаємопов'язаних програмних додатків – ArcMap, ArcCatalog і ArcToolbox.

ArcMap. Це найголовніший додаток програмного комплексу ArcGIS (рис. 7.2). Він призначений для створення карт, візуалізації, редагування й просторового аналізу даних, а також для друку карт. До нього ж підмикаються більшість додаткових модулів.

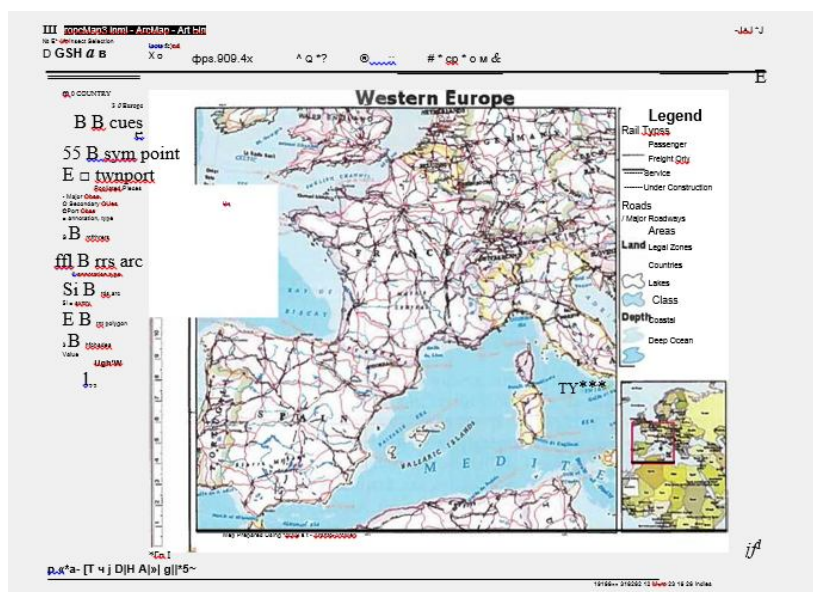


Рисунок 7.2 – Зовнішній вигляд програми ArcMap ГІС ArcGIS 9.1

У ArcMap є два режими відображення й роботи з даними: у вигляді географічних даних і у вигляді компоновання карт. У першому режимі (даних) зображуються тільки просторові дані без усякого рамкового оформлення. Другий режим (компоновання) подає карту в такому вигляді, у якому вона буде відображатися під час друкування на папері. У цьому режимі зображується, як

будуть розташовані фрагменти карти, легенда й додаткове оформлення карти на аркуші паперу.

ArcReader. Це простий безкоштовний додаток (рис. 7.3), призначений для перегляду й друкування опублікованих карт (формат PMF). Опубліковані карти створюються за допомогою додаткового модуля до ArcGIS Desktop під назвою ArcGIS Publisher, який перетворює стандартні документи карт MXD у формат PMF. Додаток ArcReader уможлиблює перегляд даних, поданих у будь-якому форматі, підтримуваному продуктами лінійки ArcGIS Desktop, але не дає змоги редагувати. Крім того, не можна змінювати склад карти, тобто не можна видаляти або додавати шари, а також змінювати правила їхньої візуалізації.

Залежно від налаштувань, зроблених автором при публікації карти, для користувача можуть бути дозволені або заборонені такі функції: доступ до гіперпосилань, перемикання між різновидами даних і компонування, відображення таблиці змісту, пошук об'єктів, отримання інформації за об'єктами, вимірювання відстаней, друк, можливість увімкнення й вимкнення видимості шарів.

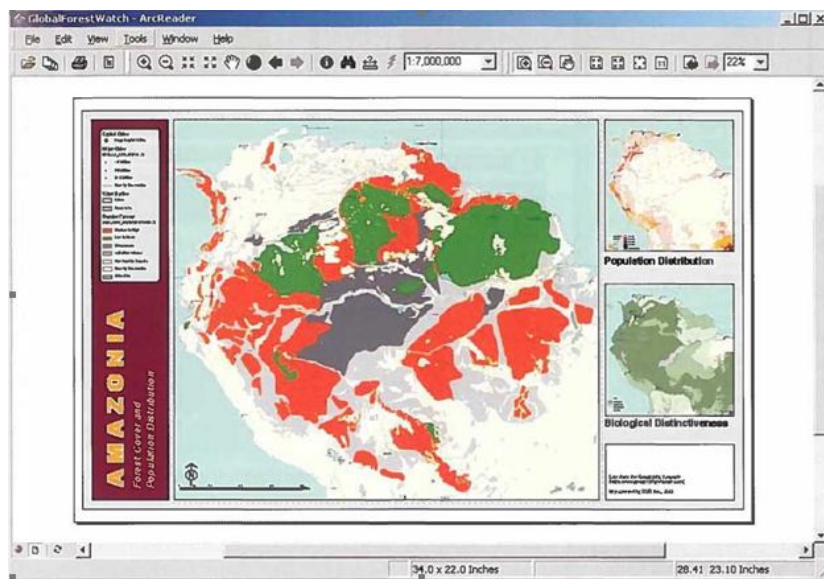


Рисунок 7.3 – Зовнішній вигляд програми ArcReader ГІС ArcGIS 9.1

ArcCatalog. Програма призначена для структурованого управління всіма даними ГІС. Вона надає інструменти для створення, маніпулювання, пошуку й швидкого перегляду просторових даних. Ця програма зовні організована як провідник Windows (рис. 7.4). У лівій частині вікна відображаються всі каталоги на комп'ютері, всі доступні геобазис даних, а також джерела просторових даних в Інтернеті. При виборі об'єкта (набору даних або карти) в лівій частині вікна в правій частині вікна відображаються відомості про об'єкт.

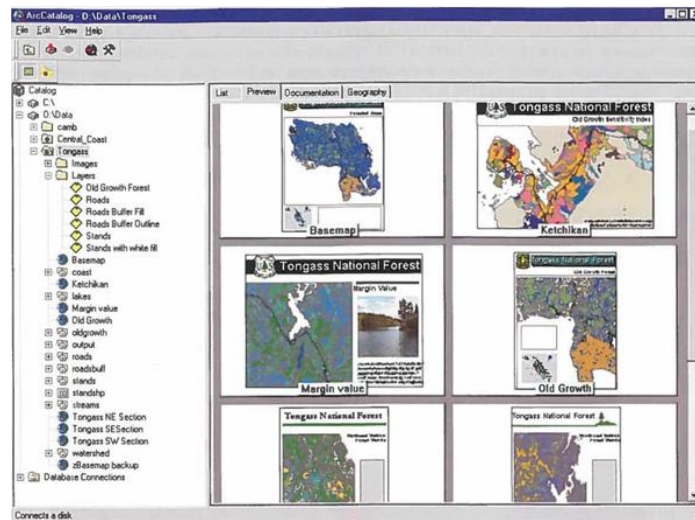


Рисунок 7.4 – Зовнішній вигляд програми ГІС ArcCatalog 9.1

ArcToolbox. Ця програма призначена для пакетного виконання різних ГІС-операцій із даними. Пакетна обробка даних передбачає, що ця обробка відбувається великими масивами, без інтерактивної вибірки окремих об'єктів. Саме тому ця програма не має графічного інтерфейсу для перегляду карт.

Додаток ArcToolbox складається з одного головного вікна, у якому у вигляді «дерева» структуровані всі команди (понад 150 в комплектації ArcInfo) для роботи з даними. При виборі в цьому «дереві» необхідної команди відкривається окреме вікно, у якому користувачеві пропонується вибрати параметри виконуваної команди, включаючи джерела просторових даних (файл і геобазу в ArcSDE) і місце, куди потрібно зберегти результат роботи. Наприклад, на рисунку 7.5 наведено приклад виклику з ArcToolbox команди побудови оверлеїв двох покриттів. При подвійному натисканні команди Overlay Wizard в «дереві» команд з'являється вікно, що дає змогу вибрати параметри побудови оверлеїв.

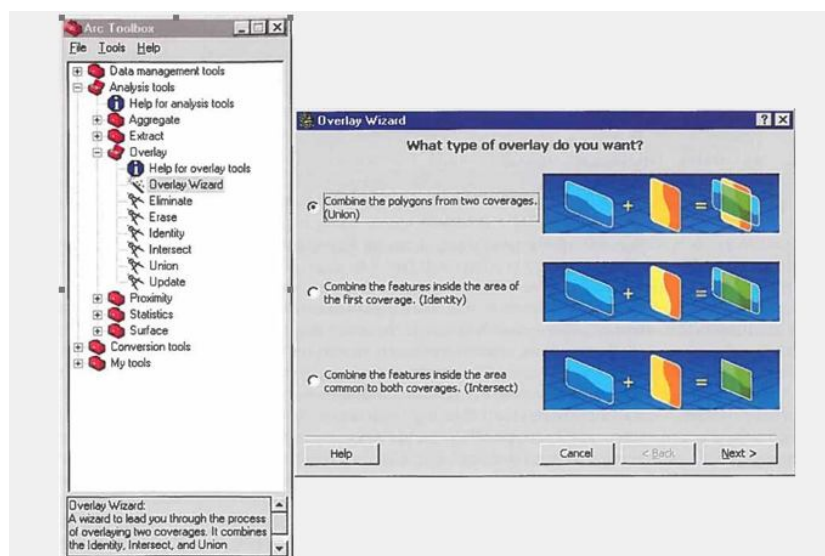


Рисунок 7.5 – Зовнішній вигляд програми ArcToolbox ГІС ArcGIS 9.1

Перевагою всіх додатків лінійки ArcGIS Desktop є те, що вони побудовані за єдиною об'єктно-орієнтованою моделлю ActiveX, доступною для розширення сторонніми виробниками. Сама фірма-виробник ArcGIS компанії ESRI пропонує декілька найважливіших модулів, цю істотно розширюють функціональність базової ГІС, а саме:

ArcGIS Spatial Analyst. Цей додатковий модуль пропонує потужні засоби просторового аналізу растрових даних. За допомогою цього модуля можна створювати нові растрові документи, редагувати, а також аналізувати їх. Модуль містить такі групи функцій:

1. **Картування відстаней.** Функції цієї групи дозволяють обчислювати звичайні евклідові відстані, а також відстані в інших метриках, наприклад відстані як вартість переміщення між точками на карті. Для визначення вартості переміщення по карті використовується інший растр, у кожному пікселі якого задана швидкість руху в ньому.

2. **Картування щільності.** Обчислення щільності використовується, коли потрібно показати концентрацію точкових або лінійних об'єктів. Наприклад, маючи відомості щодо чисельності населення міст будь-якого регіону, можна обчислити розподіл населення по всьому цьому регіону.

3. **Інтерполяція растру.** Інтерполяція дає змогу обчислити значення деякого параметра у всіх осередках растру за невеликим набором значень, заданих у довільних точках площини. Ця функція використовується для передбачення значень найрізноманітніших географічних явищ, що вимірюються тільки в певних точках, таких як висотні відмітки рельєфу, рівні опадів, рівні ґрунтових вод, концентрація небезпечних речовин, рівні шуму тощо. У модулі Spatial Analyst є декілька методів інтерполяції, зокрема метод зворотних зважених відстаней, метод кригінгу і сплайну. Метод обирає користувач виходячи з апріорних відомостей про предметну область.

4. **Аналіз поверхні.** Розрахувавши растрову поверхню, можна зауважити, що деякі закономірності розподілу не виявляються на цій поверхні, тому необхідно застосувати функції аналізу. У Spatial Analyst включено низку таких функцій. Функція побудови ізоліній відображає розташування з однаковими значеннями. Функція обчислення нахилу використовується, наприклад, під час визначення ризику зсувів. Функція обчислення експозиції нахилів корисна, наприклад, під час визначення ділянок оптимального землеробства. Функція відмивання рельєфу використовується як для реалістичного відображення поверхні рельєфу, так і для аналізу освітленості місцевості в різний час доби. Ще одна функція цього ряду – розрахування видимості – слугує для визначення ділянок поверхні, які видно із заданих точок спостереження.

5. **Статистичні функції.** Ця група функцій дає змогу за значеннями в осередках растру обчислити такі величини, як максимум, мінімум, середнє, більшість, меншість, медіана, діапазон, середньоквадратичне відхилення, сума й різноманіття.

6. **Статистика за осередками.** Ця функція призначена для обчислення

статистичних характеристик за кількома растровими верствами, наприклад для аналізу літніх температур за десятирічний період. Статистика сусідства обчислюється на підставі значень оброблюваного осередка й значень осередків у заданому довкіллі і може бути використана, наприклад, під час перевірки стабільності екосистеми для визначення різноманітності біологічних видів у кожній із сусідніх областей. За допомогою функції зональної статистики обчислюються характеристики за значеннями одного набору даних для зон, визначених іншим набором. Приміром, так можна обчислити кількість аварій на кожній дорозі в місті або середню кількість опадів для кожної лісової зони.

7. **Перекласифікація.** Ця функція виконує заміну значень осередків іншими значеннями на підставі деякого критерію. Її можна використовувати для угруповання значень осередків, наприклад для об'єднання всіх різновидів автомобільних доріг в один клас, а залізниць – в інший.

8. **Калькулятор растрів.** Це інструмент для обчислення значень в осередках растру за безліччю інших растрів. Вхідними даними для калькулятора можуть бути растрові або векторні набори даних, таблиці та окремі числа. Математичні оператори представлені арифметичними, булевими операторами й операторами відносин (зокрема порозрядні й комбінаторні); математичні функції представлені арифметичними, тригонометричними, логарифмічними й статичними функціями, а функції алгебри карт уможливають здійснення операцій типу обчислення нахилу або статистичних характеристик осередків для декількох растрових шарів.

9. **Конвертація.** Цей інструмент призначений для перетворення векторних даних (покриттів, шейп-файлів, даних САПР) в растрові й навпаки.

ArcGIS 3D Analyst. Цей додатковий модуль пропонує потужні засоби створення, візуалізації й аналізу поверхонь у вигляді регулярних (растрових) і нерегулярних (триангуляційних) моделей даних. Відмінною особливістю цього модуля стосовно більшості інших є те, що його головні функції доступні не в додатку ArcMap, а в ArcScene, який спеціально призначений для тривимірної візуалізації картографічних поверхонь і тривимірних об'єктів і явищ. ArcScene дає змогу розглядати реалістичні тривимірні зображення з різних поглядів.

Крім нової програми ArcScene, цей модуль розширює функціональність додатків ArcMap і ArcCatalog, уможливаючи створення й візуалізацію в них моделі поверхонь (растрових і триангуляційних).

Растрові поверхні будуються за допомогою функції «Інтерполяція растру», які в модулі ArcGIS Spatial Analyst.

Триангуляційні поверхні створюються за кількома розділами векторних даних і використовуються здебільшого тільки для моделювання невеликих ділянок місцевості.

Модуль **ArcGIS Spatial Analyst** містить безліч стандартних засобів аналізу поверхонь, зокрема побудову ізоліній, ізоклінів, розрахування нахилу й експозицій схилів, аналіз видимості тощо.

У додатку **ArcScene** можна задавати такі загальні властивості сцени, як освітленість, фон, вертикальне розтягування, а також переміщати й обертати сцену, задавати координати спостерігача. Крім того, можна анімувати тривимірне зображення й віртуальний прогін над сценою.

Сцена в **ArcScene** складається з тривимірних поверхонь і додаткових тривимірних об'єктів, динамічно створюваних на базі звичайних двовимірних. Наприклад, звичайний двовимірний шар будівель може бути поданий в ArcScene як набір тривимірних фігур, які утворюються внаслідок «видавлювання» багатокутників вгору на деяку висоту, що задається в атрибуті висоти будинків. Для збільшення реалістичності поверхонь на них зазвичай «натягують» деякі растрові зображення, наприклад аерокосмознімки місцевості або скановані карти.

ArcGIS Geostatistical Analyst. Це спеціалізований модуль для виконання геостатистичного аналізу (див. п. 6.3). Він дає змогу будувати безперервні (растрові) поверхні на підставі вимірів, проведених в окремих точках простору. За допомогою цього модуля можна інтерполювати значення різними методами з високим ступенем достовірності. Зазначимо, що функції інтерполяції методом кригінгу є також в модулях ArcGIS Spatial Analyst і ArcGIS 3D Analyst, проте в цьому модулі представлені більш потужні варіанти цих функцій, а також деякі інші. Крім того, модуль ArcGIS Geostatistical Analyst містить можливості для статистичного оцінювання помилок, визначення порогових значень і непевного моделювання.

ArcGIS Network Analyst. Цей модуль дає змогу створювати й аналізувати транспортні мережі. Набір базових функцій модуля включає в себе:

- пошук найкоротших маршрутів руху;
- розрахування оптимальних маршрутів обходу заданих пунктів;
- пошук найближчих пунктів обслуговування;
- визначення зон транспортного обслуговування.

Під час здійснення цих розрахунків у транспортній мережі можна врахувати заборони на виконання поворотів на деяких перехрестях, різні розрахункові швидкості руху на дугах транспортної мережі, а також бар'єри – особливі об'єкти, які заборонено перетинати під час пошуку маршрутів руху.

ArcGIS StreetMap USA і ArcGIS StreetMap Europe. Ці модулі містять геокодовані дані щодо вулично-дорожньої мережі всієї території США і Європи. Крім власне вулиць і доріг, модулі ArcGIS StreetMap відображають і підписують на карті багато супутніх просторових об'єктів, зокрема парки, водойми, різноманітні місцеві орієнтири. Використовуючи функцію пошуку, за адресою можна знайти фактично будь-яку адресу в будь-якій країні і відобразити результати на карті. Усі дані подаються в стислому викладі на декількох компакт-дисках.

ArcGIS Business Analyst. Цей модуль призначений для аналізу місцевих ринків збуту й ступеня їхньої конкуренції, вибору оптимального місця розташування нових магазинів, а також для оптимізації прямого розсилання пошти потенційним клієнтам магазинів. Ці операції виконуються на підставі таких географічних, демографічних і маркетингових даних, що постачаються разом із цим модулем для США:

- демографічні дані. Цей блок даних включає понад 1000 різних демографічних і маркетингових параметрів за кожним штатом, округом, дорогою і кварталом;

- дані по підприємствах. Цей блок включає відомості про більш понад 12 млн підприємств, зареєстрованих у США;

- дані про споживачів. Цей блок включає відомості про понад 105 млн домовласників в США, зокрема 28 параметрів щодо їхнього віку, статі, середнього доходу, домашньої адреси тощо;

- дані про торгові центри. Цей блок містить детальні відомості про понад 14 000 великих торгових центрів (із торговою площею не менше ніж 16 000 м²), про їхню частку на ринку, ринкову стратегію, перспективи розвитку;

- відомості про вулично-дорожню мережу. По суті, сюди включені всі відомості, що постачаються разом із модулем ArcGIS StreetMap USA.

ArcPress для ArcGIS. Цей модуль призначений для виведення карт на друк. Це програмний растеризатор, який створює файли стандартних графічних (BMP, JPG, TIFF тощо) форматів, а також спеціальні Postscript-файли для друку на стандартних широкоформатних і настільних принтерах. Під час друкування карт на звичайних невеликих принтерах (формату не більше ніж А 3) зазвичай не виникає необхідності використовувати цей модуль, а процедура друку може бути виконана за допомогою стандартних засобів Windows. При друці більших і насиченіших карт Windows принтер може не впоратися через нестачу

оперативної пам'яті в комп'ютері або в самому принтері. Саме в цих випадках потрібно використовувати модуль ArcPress.

Maplex для ArcGIS. Цей модуль призначений для оптимального розміщення в автоматичному режимі підписів до об'єктів карти. Модуль має такі функції:

- на карту автоматично наносяться різні за розміром і шрифтом написи для різних об'єктів. До того ж особливістю цього модуля є те, що підписи розміщуються одразу ж для всіх шарів карти, а не окремо для кожного;

- якщо написи перекриваються, розмір окремих написів автоматично зменшується. А якщо і в цьому разі написи перекриваються, то деякі написи видаляються з карти;

- якщо написи перекриваються, можна задати правила їхнього скорочення, замінюючи їх абрєвіатурами;

- під час нанесення написів на лінійні об'єкти їх згинають уздовж об'єктів, а за необхідності декілька разів дублюють для дуже довгих ліній;

- при нанесенні написів для лінійних і майданних об'єктів інтервали між буквами і словами за необхідності можуть бути збільшені, щоб напис повністю заповнив відведене йому місце;

- написи можуть розміщуватися паралельно й перпендикулярно до ліній картографічної або координатної сітки;

- написи можуть складно відформатовуватися, тобто вони можуть містити символи, оформлені різними шрифтами, кольорами, розмірами тощо.

ArcGIS Publisher. Цей модуль перетворює карти з формату MXD у формат опублікованих карт PMF для відкритого обміну цими картами між користувачами. Опубліковані карти в форматі PMF можна переглядати за допомогою безкоштовного додатка ArcReader (див. його опис вище).

ArcGIS Survey Analyst. Цей модуль призначений для обробки результатів геодезійних пошуків і їхнього відображення на карті. Перевагою модуля щодо аналогічних програм для обробки геодезійних пошуків є те, що дані ArcGIS Survey Analyst зберігаються в геобазі даних разом з іншими об'єктами ArcGIS і що координати звичайних просторових об'єктів можуть бути пов'язані з обробленими координатами знімальних точок. До того ж координати об'єктів можна автоматично вирівнювати за значеннями знімальних точок.

Використовуючи модуль ArcGIS Survey Analyst, можна зберігати в єдиній геобазі даних величезну кількість геодезійних вимірювань, зроблених у різні періоди часу. До того ж координати об'єктів можуть бути виміряні багаторазово у різний час. Окрім того, модуль дає змогу кількісно й візуально оцінити на карті точність виконаних вимірювань.

ArcGIS Tracking Analyst. Цей модуль призначений для відображення та аналізу даних, що змінюються в часі (з архіву темпоральних даних або даних, що надходять в реальному часі), таких, наприклад, як дані систем супутникової навігації GPS. Головними сферами застосування цього модуля є транспорт, служби швидкого реагування, військові, а також завдання вивчення й моніторингу навколишнього середовища. Модуль призначений для вирішення таких завдань:

- планування подій;
- супровід польотів і прокладання маршрутів;
- планування рятувальних заходів;
- управління та обслуговування будівель і споруд (склади, вокзали, станції тощо);
- контроль за дотриманням розкладів і маршрутів;
- управління парком транспортних засобів;
- складання розкладів і графіків роботи;
- відстеження переміщень транспортних засобів;
- відстеження переміщень товарів на складі;
- управління роботою громадського транспорту;
- відстеження переміщень об'єктів живої природи;
- вивчення динаміки явищ і подій.

Модуль ArcGIS Tracking Analyst передбачає такі операції:

1. *Обробка темпоральних даних.* Модуль безпосередньо підтримує ГІС-дані, що містять інформацію про час, а також дає змогу використовувати дані, що надходять у режимі реального часу з сервера ArcIMS Tracking Server. Забезпечується підтримка даних у вигляді точок (автомобілі, повітряні або морські судна), ліній (атмосферні фронти) або полігонів (смуга знімання супутника, нафтові плями).

2. *Темпоральні символи.* Такі символи дають змогу по-різному відображати дані залежно від поточного часу. Кожен шар має свій час дії, що визначає обсяг і час відображення темпоральних даних. Для наборів даних із характеристиками часу можливе комбінування звичайних і темпоральних символів. Залежно від часу символи точкових об'єктів можуть змінювати свій колір, розмір і сам символ, залежно від характеристики часу лінійні й полігональні символи можуть змінювати свій колір. Крім того, модуль ArcGIS Tracking Analyst уможлиблює відображення траєкторії переміщення об'єктів.

3. *Відтворення.* Цей інструмент призначений для інтерактивного програвання даних, що мають темпоральний складник.

4. *Темпоральний аналіз.* Функція «годинник даних» відображує щільність просторових подій у часі, при цьому використовуються різні методи

визначення щільності й візуалізації. Функція «тимчасового зрушення» забезпечує одночасне відтворення даних за різні періоди часу. Крім того, у разі виконання деяких умов щодо атрибутів і їхніх просторова характеристик можуть бути виконані такі спеціальні дії, як підсвічування, приховування й проявлення об'єкта, або дія, задана користувачем (рис. 7.6).

ArcScan для ArcGIS. Із цим модулем ArcGIS стає професійним векторизатором. Модуль забезпечує виконання функцій сканування твердих копій карт (на паперових носіях) і векторизації – перетворення растрових даних у векторні шари (шейп-файли, покриття або набори даних геобазис). ArcScan повністю інтегрований у додаток ArcMap. Також він містить такі функції, як редагування («чищення») растрів перед векторизацією, напівавтоматичної і автоматичної векторизації, постобробки векторизованих векторних об'єктів.

Режим автоматичної векторизації растрових даних може працювати у два способи, коли векторизація проводиться по центру ліній (для лінійних об'єктів) або по межі (для площинних об'єктів). Вибір способу обумовлюється апріорними відомостями про походження об'єктів на відсканованих зображеннях, а тому визначається користувачем.

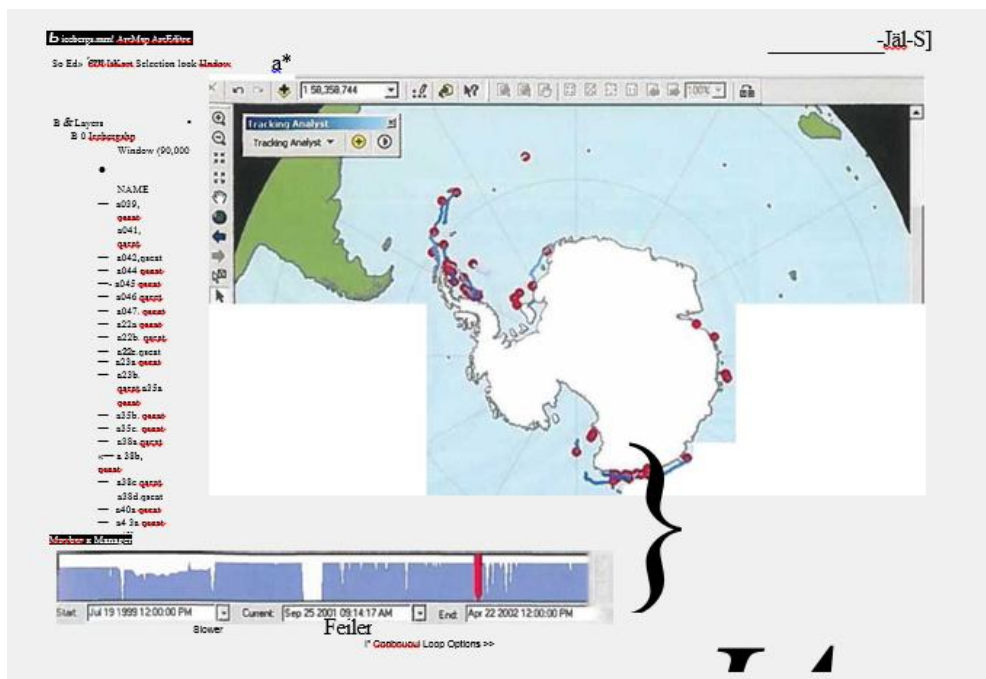


Рисунок 7.6 – Відображення темпоральних даних за допомогою додаткового модуля ArcGIS Tracking Analyst

Режим напівавтоматичної векторизації є розширенням звичайного режиму ArcGIS для малювання нових об'єктів карти. При цьому на допомогу користувачеві надається інструмент автоматичного підтягування введених вузлів об'єктів до специфічних об'єктів на растрі. Підтягування може

здійснюватися до осьових ліній растрових об'єктів, до точок перетину ліній, кутів, кінцевих точок і компактним об'єктів.

Інструмент переміщення по растру призначений також для напівавтоматичної векторизації. З його допомогою потрібно тільки вказати курсором напрям проведення векторизації і натиснути кнопку мишки. При кожному наступному натисканні будуть створюватися векторні об'єкти і проводитися лінії через центри відповідних осередків растру.

Якщо потрібно векторизувати тільки певні різновиди об'єктів у деякій області растру, можна скористатися інструментом вибору пікселів для векторизації, що дає змогу відсіяти незначущі пікселі растру.

ArcGIS Schematics. Цей модуль призначений для створення схематичного й геосхематичного уявлення про об'єкти геобаз даних. Модуль дає змогу створювати схеми інженерних мереж (електричних, водопровідних, нафтогазових, телекомунікаційних тощо) і транспортної інфраструктури (автомобільних і залізних доріг) на підставі даних, що містяться в геобазі даних. ArcGIS Schematics обирає з геобазі інформацію про деякі мережі (об'єкти і зв'язки між ними), а потім автоматично генерує різні види подання цієї мережі у вигляді діаграм, деревоподібних структур, матриць тощо.

Для відображення елементів мережі можуть використовуватися стандартні символи ArcGIS, але в деяких випадках цього недостатньо. Наприклад, для автоматичного створення схеми електричної мережі з трьохобертними трансформаторами потрібно мати спеціальний символ трансформатора, у якому по-особливому позначені точками висновки трансформатора. Для таких символів до ArcGIS Schematics включено спеціальний редактор символів.

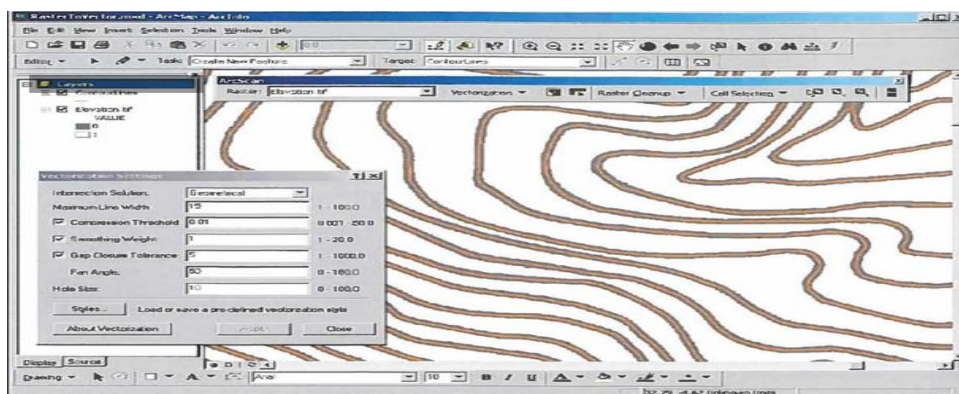


Рисунок 7.7 – Автоматична векторизація ізоліній на карті за допомогою ArcScan для ArcGIS 9.1

Компанія ESRI (виробник ArcGIS) давно і успішно співпрацює з компанією ERDAS (виробник растрової ГІС Imagine, яка нещодавно увійшла до

складу фірми Leica Inc.) – світовим лідером у сфері обробки ДДЗ. Саме тому ERDAS розробила два додаткових модулі для ArcGIS з метою вирішення всіх головних завдань обробки аерофотокосмосзнімків.

Image Analysis для ArcGIS. Цей модуль призначений для обробки даних дистанційного зондування. Модуль забезпечений такими можливостями:

1. Геометричне перетворення растру, зокрема афінне, поліноміальне, методом «гумового листа», перепроєктування (змінювання зображення з однієї проєкції в іншу), а також ортокорекція зображень з використанням різних моделей фотокамер (з центральною проєкцією або встановлених на супутниках Ikonos, Spot, Quickbird, Landsat і ін.).

2. Створення орієнтованих зображень, придатних для використання в модулі Spatial Analyst.

3. Складання з декількох зображень мозаїки і зміна балансу кольорів окремих зображень.

4. Класифікація (автономна класифікація IsoData і керована).

5. Відсікання частин зображення.

6. Імпорт зображень із безлічі форматів (зокрема всі, підтримувані системою ERDAS Imagine, а також TIFF, GIF, Jpeg, Generic Binary, Raw Binary, MrSID, ERDAS Imagine LAN і IMG.).

7. Перетворення растру у векторні шари й растеризація векторного зображення.

8. Виконання просторових поліпшувальних перетворень растру (фільтрація зі згорткою, ізотропний фільтр визначення країв, фокальна тематична фільтрація, злиття знімків із різною просторовою роздільною здатністю).

9. Виконання радіометричних поліпшувальних перетворень (із використанням таблиць перекодування LUT), вирівнювання яскравості гістограм, поєднання гістограм, отримання негативу.

10. Виконання спектральних поліпшувальних перетворень (перетворення колірного простору RGB в INS і навпаки, нормалізований вегетаційний індекс NDVI, перетворення в природні кольори).

11. Виконання операцій просторового аналізу растрових (аналіз околиці, перекодування растрів, підсумовування областей).

12. Класифікації зображень різними методами.

Stereo Analyst для ArcGIS. Цей модуль призначений для обробки стереозображень та отримання цифрової моделі місцевості. Модуль забезпечений такими можливостями:

1. Створення стереопар різними способами.

2. Візуалізація стереозображень анагліфічним (із використанням червоно-синіх окулярів) і апаратним (із застосуванням рідкокристалічних окулярів, керованими драйвером OpenGL із підтримкою стереозображення у вікні) способами (рис. 7.8).

3. Використання тривимірного «плаваючого» курсора для ідентифікації та збору тривимірних даних. У процесі збирання даних висота тривимірного курсора може бути точно встановлена на заданому рівні або на поверхні, яка цікавить користувача.

4. Перетворення наявних звичайних двовимірних шейп-файлів на тривимірні.

5. Контроль якості цифрових стереомоделей.

6. Вимірювання та збір просторової інформації в тривимірному вигляді, зокрема побудова й редагування об'єктів і їхніх атрибутів у форматі тривимірних шейп-файлів.

7. Точний збір безлічі тривимірних точок і ламаних ліній для створення цифрових стереомоделей рельєфу.

8. Напівавтоматичне виокремлення доріг, будівель і земельних ділянок.

9. Автоматичне кодування об'єктів і присвоєння їм атрибутивної інформації.

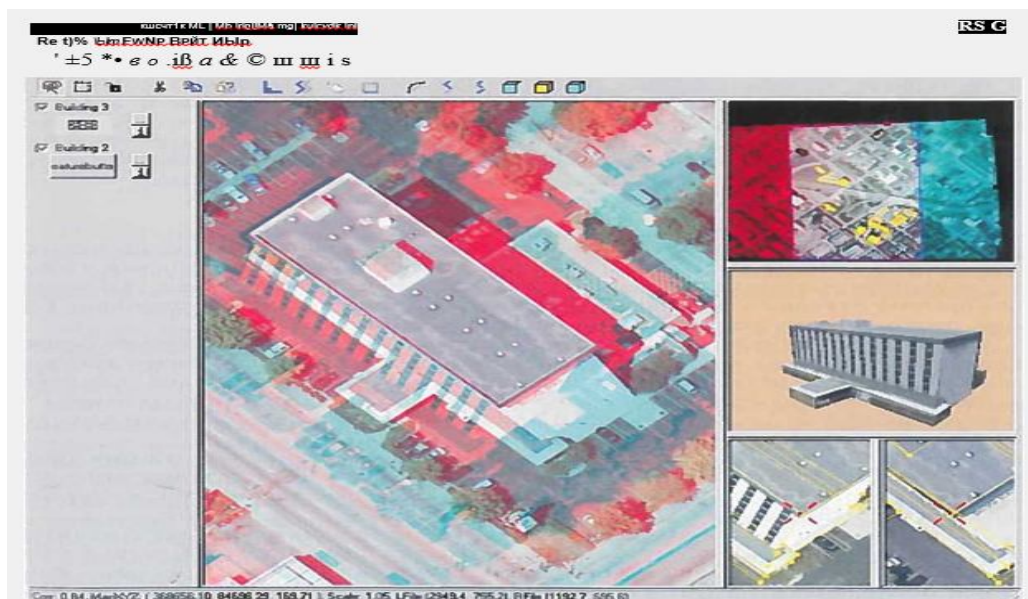


Рисунок 7.8 – Обробка стереозображень в модулі Stereo Analyst для ArcGIS 9.1

Модуль Stereo Analyst для ArcGIS підтримує всі формати растрових і векторних даних, що використовуються в ERDAS Imagine, зокрема TIFF, GIF, Jpeg, Generic Binary, Raw Binary, MrSID, ERDAS Imagine LAN і IMG. Також Stereo Analyst для ArcGIS підтримує формати даних для опису моделей, які можуть безпосередньо використовуватися в Virtual GIS, наприклад, формат

MultiGen (див. рис. 5.7). Модуль Stereo Analyst для ArcGIS уможливило перегляд властивостей моделей сенсорів і блоків зображень ERDAS Imagine OrthoBASE.

Зазначимо, що всі програмні продукти серії ArcGIS побудовані на базі загальної відкритої об'єктно орієнтованої архітектури, що визначається технологією ActiveX. До кожного об'єкта в ArcGIS (усередині призначених для користувача додатків ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox або ArcScene, будь-якого додаткового модуля до ArcGIS або на сервері просторових даних) можна отримати прямий доступ через стандартні ActiveX-інтерфейси. Це дає змогу користувачам і стороннім розробникам за необхідності нарощувати функціональність ГІС, використовуючи будь-яку мову програмування, що підтримує технологію ActiveX, наприклад Visual Basic, C++ або Delphi. Крім цього, можна використовувати мову Visual Basic for Applications, безпосередньо вбудовану в додатки ArcMap, ArcCatalog і ArcScene.

7.2.2 MapInfo 8.0

Геоінформаційна система MapInfo (остання версія 8.0, 2005) виробництва американської компанії MapInfo, є другою за поширеністю у світі геоінформаційною системою. Система забезпечена різноманітними функціями і додатковими модулями, що дають змогу вирішувати багато ГІС-завдань, проте загалом ця система помітно простіша порівняно з ArcGIS.

Місцем зберігання векторних просторових даних в MapInfo є так звані табличні файли з розширенням tab. У цих файлах дані зберігаються у вигляді, аналогічному до реляційних таблиць у базі даних. Крім tab-файлів просторові дані в MapInfo можуть зберігатися в реляційних базах даних під керуванням СУБД Oracle, Informix і SQL server, доповнених програмним продуктом SpatialWare виробництва корпорації MapInfo.

SpatialWare розширює можливості базової СУБД новими допустимими типами об'єктів, а також функціями індексації та аналізу просторових відношень об'єктів. У певному сенсі SpatialWare є спрощеним аналогом серверної технології ArcSDE компанії ESRI.

Для точкових об'єктів MapInfo підтримує ще одну можливість зберігання. Точки можуть безпосередньо завантажуватися з текстових файлів, з електронних таблиць Microsoft Excel і Lotus 1-2-3, а також із таблиць різних баз даних, зокрема файлів Microsoft Access (файли *.MDB) і dBase (файли *.DBF).

ГІС MapInfo має досить потужні засоби для підготовки картографічних матеріалів. Як і в багатьох інших ГІС, MapInfo забезпечена різними засобами візуалізації просторових даних, а також способами підготовки макетів карт до

друку. Однак це ще не все. Ця система підтримує технологію OLE2 у режимі «сервера», даючи змогу вставляти (і потім змінювати) карти MapInfo безпосередньо в будь-які інші документи користувача, наприклад у документи Microsoft Word, таблиці Microsoft Excel або в презентації Microsoft PowerPoint.

ГІС MapInfo дає змогу працювати за технологією OLE2, і навпаки – у режимі «клієнта». Це забезпечує можливість вставляти в карти MapInfo будь-які інші документи, створені в додатках, що підтримують режим «сервера» технології OLE2. Наприклад, на карті як додаткову інформацію можна розмістити таблицю, створену засобами Microsoft Excel.

MapInfo має досить великий модуль ділової графіки, що уможливлює створення на підставі наявної в шарах карти інформації різноманітних графіків (майданні, стовпчасті, лінійні, точкові, бульбашкові, кругові діаграми, тривимірні графіки, колонки, гістограми й поверхні).

ГІС MapInfo підтримує базові функції для роботи з растровими зображеннями (монохромними, напівтоновими й кольоровими). Растри можуть завантажуватися безпосередньо із вказаного файла або через Інтернет з будь-яких серверів, що працюють за технологією Web Map Service, стандартизованою в межах консорціуму OpenGIS Consortium.

Для розширення можливостей ГІС MapInfo пропонує своїм користувачам спеціальну мову програмування MapBasic, що базується на популярній мові Basic. Мовою MapBasic можуть бути створені елементи призначеного для користувача інтерфейсу, можна керувати картами й даними. За необхідності, використовуючи MapBasic, можна запустити будь-яку зовнішню програму або обрати операцію у зовнішній динамічній бібліотеці Windows (файли з розширенням dll).

Використовуючи можливості розширення функцій MapInfo, розробники-аматори із різних країн створили численні модулі розширення, що уможливлюють широке використання MapInfo.

7.2.3 Autodesk Map 3D 2006

Геоінформаційна система Autodesk Map 3D 2006 (введена в дію в 2005 р.) є надбудовою популярної універсальної системи автоматизованого проектування Autodesk AutoCAD 2006 (рис. 7.9). Ця надбудова вводить у знайоме багатьом проектувальникам середовище додаткові інструменти, які доповнюють AutoCAD функціями ГІС.

Головними функціями Autodesk Map 3D 2006, що додаються в середовище AutoCAD, є такі:

- підтримка найпоширеніших геоінформаційних форматів подання як растрових, так і векторних даних;
- можливість працювати з набагато більшими обсягами даних, ніж може забезпечити AutoCAD;
- тематична візуалізація просторових даних;
- функції побудови, візуалізації й аналізу поверхонь у вигляді регулярної та нерегулярної моделей даних.

Таким чином, сам по собі програмний продукт Autodesk Map 3D 2006 є досить простого ГІС, однак той факт, що він базується на найпоширенішій у світі платформі AutoCAD, забезпечує його використання в комбінації з іншими продуктами для вирішення унікальних завдань. Насамперед це такі завдання, у яких потрібно комбінувати можливості ГІС і САПР, наприклад завдання управління інженерними мережами й транспортною інфраструктурою.

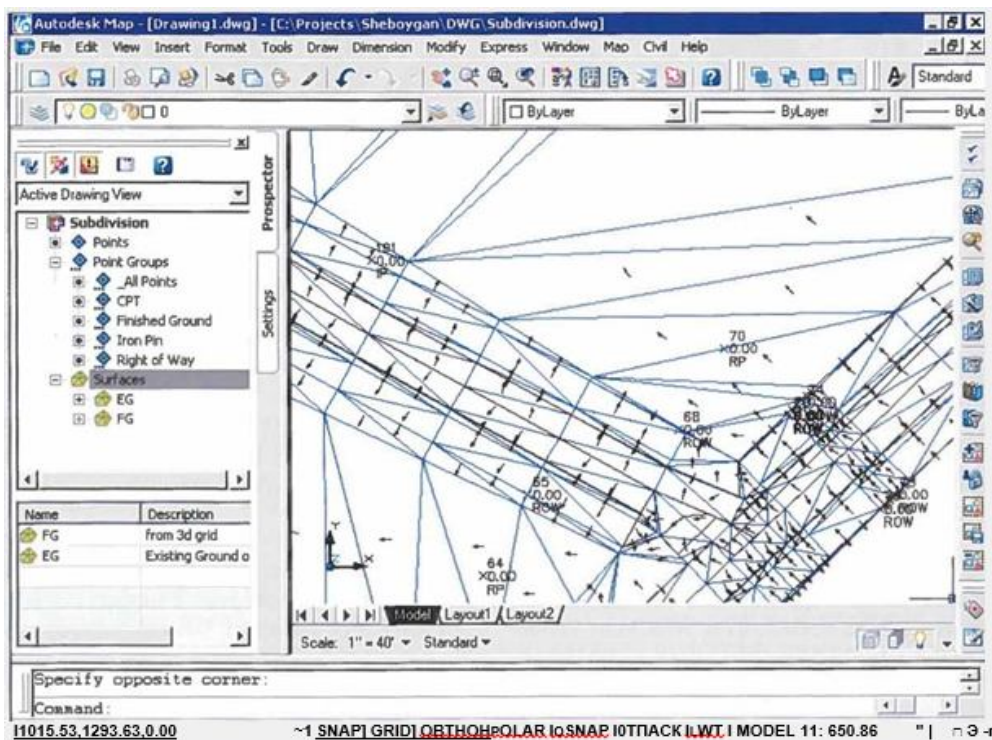


Рисунок 7.9 – Зовнішній вигляд ГІС Autodesk Map 3D 2006

На додаток до ГІС Autodesk 3D 2006 фірма-виробник Autodesk випускає ще низку супутніх продуктів, що дають змогу створювати для користувачів повноцінні ГІС-рішення.

Приміром, продукт Autodesk Survey 2006 забезпечує автоматизацію процесу оброблення даних геодезійних пошуків. За його допомогою можна безпосередньо вводити дані з найпоширеніших геодезійних і супутникових

навігаційних приладів. Після введення в програму теодолітних (тахеометричних) ходів, зрівнювання ходів і обробки знімальних вимірювань можна легко створити просторові об'єкти безпосередньо в середовищі Autodesk Map 3D 2006. Якщо геодезійні дослідження виконувалися із введенням спеціальних кодів класифікації, то просторові об'єкти можуть взагалі бути створені автоматично.

Програма Autodesk Raster Design 2006 призначена для оброблення растрових зображень, їхньої трансформації з метою прив'язки до географічних координат, а також для автоматичної й напівавтоматичної векторизації.

Autodesk GIS Design Server призначений для зберігання карт в базі даних на сервері Oracle. Із його допомогою можна без ускладнень виконувати паралельну роботу з одними і тими самими просторовими даними. До того ж для користувача робота з віддаленим сервером зовні нічим не відрізняється від роботи зі звичними файловими даними.

Програмний продукт Autodesk MapGuide 6.5 призначений для публікації карт в Інтернеті. За допомогою програми Autodesk MapGuide Author карти готують до публікації. З її допомогою можна додати нові шари на карту й задати параметри їхньої візуалізації. Далі підготовлена карта розміщується на Web-сервері для перегляду звичайними браузером Інтернету (рис. 7.14).

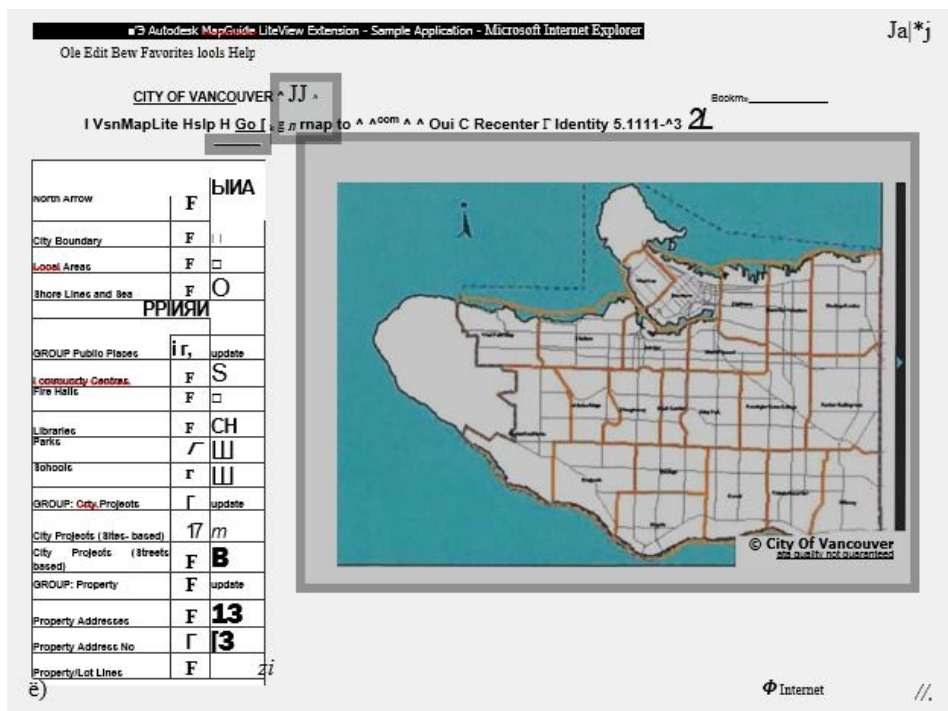


Рисунок 7.10 – Перегляд через браузер інтернет-карти, створеної засобами Autodesk MapGuide

Розглянемо ще один програмний продукт, що випускається компанією Autodesk. Програма Autodesk Envision є програмним середовищем, призначеним для одночасної роботи з картами, кресленнями й інженерними даними. Прості під час використання функції електронних позначок і редагування дають змогу виокремити спірні моменти на картах і кресленнях, забезпечуючи ефективну роботу над проектом. Підтримується робота з векторними й растровими зображеннями, а також текстовими файлами даних.

7.2.4 Geo Media 6.0

Геоінформаційна система GeoMedia (остання версія 6.0, 2005) розроблена в компанії Intergraph Зігрій. Особливістю цієї ГІС є те, що це перша в світі ГІС, розроблена повністю у відповідності із специфікаціями консорціуму Open Geospatial Consortium. Цей консорціум був створений декілька років тому для стандартизації різних питань щодо створення геоінформаційних систем, наприклад форматів подання просторових даних. Сама ж компанія Intergraph Зігрій. є одним із засновників і найактивніших учасників консорціуму.

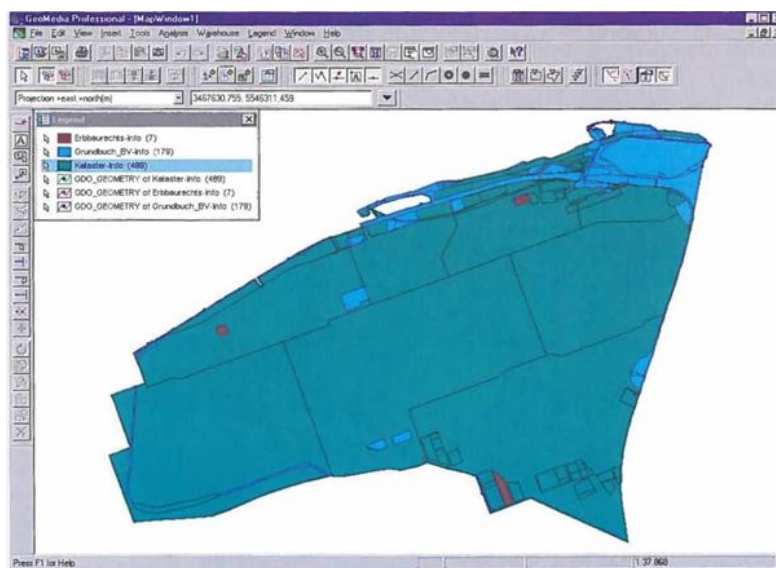


Рисунок 7.11 – Зовнішній вигляд повнофункціональної геоінформаційної системи GeoMedia

Функціональні можливості ГІС GeoMedia багато в чому подібні до інших продуктів. Система підтримує роботу з найрізноманітнішими типами даних, що зберігаються як у файлах, так і в реляційних базах даних Oracle/Оg, Microsoft SQL Server, Microsoft Access, IBM DB2. Крім звичайних геоінформаційних даних, у GeoMedia можуть бути використані креслення у форматах MGE, Microstation, AutoCAD, FRAMME.

На базі ГІС GeoMedia розроблено додаткові модулі й додатки.

GeoMedia Terrain. Цей модуль призначений для моделювання та аналізу поверхонь, заданих у вигляді регулярної (растрової) та нерегулярної (триангуляційної) моделей поверхонь. Модуль уможливорює виконання інтерполяції висот, побудову профілів, ізоліній, ізоконтурів, ізоклінів, а також зон видимості. Отриману поверхню можна переглянути у вікні тривимірної візуалізації.

GeoMedia Grid. Цей модуль призначений для виконання просторового аналізу на підставі растрових моделей даних, зокрема перетворення даних між векторним і растровим поданням, виконання операцій щодо алгебри карт.

GeoMedia Transportation Analyst. Цей модуль забезпечує виконання різних видів транспортних розрахунків, зокрема пошук найкоротших маршрутів, визначення найближчих сервісних пунктів, розрахування зон транспортного обслуговування тощо.

GeoMedia Transportation Manager. Цей модуль призначений для управління транспортними (дорожніми, залізничними, трубопровідними) мережами. Модуль має засоби для побудови транспортних мереж і аналізу їх коректності. Цей модуль вважається розширенням модуля GeoMedia Transportation Analyst, він додає нові функції до аналізу мереж.

GeoMedia Transaction Manager. Призначений для організації одночасної роботи (перегляду й редагування) із картами багатьох користувачів. За його допомогою можна тимчасово заблокувати певний фрагмент карти, щоб відредагувати його вміст. У разі, якщо потрібно значно змінити всю карту, можна увійти в режим «Довга транзакція». При цьому для користувача створюється нова «версія» – віртуальна копія карти, яку можна редагувати, проте всі зміни не будуть доступні іншим користувачам. Після закінчення редагування версію можна об'єднати з вихідною картою, щоб зміни стали доступними для користувачів.

З допомогою GeoMedia Transaction Manager можна також виконувати найпростіші операції темпорального аналізу, визначаючи, як було змінено, об'єкт протягом вказаного проміжку часу і як виглядала карта на вказаний період часу.

GeoMedia Parcel Manager. Цей модуль призначений для управління земельними ділянками, він надає спеціальні інструменти для обліку даних геодезійних пошуків, автоматичного підписування й нумерації ділянок, а також для виконання операцій розбиття й об'єднання земельних ділянок.

GeoMedia PublicWorks Manager. Цей модуль призначений для управління водопровідними мережами й мережами водовідведення. За його допомогою можна створити віртуальну трубопровідну мережу, зокрема труби, вентилі й різні спеціальні елементи. Додатково карта може бути забезпечена

розмірними лініями. Цей модуль дає змогу відображати потоки води й виконувати деякі специфічні розрахунки.

GeoMedia WebMap. Цей програмний продукт є повноцінним Web-сервером, що уможливорює публікацію карти в Інтернеті з метою її перегляду й аналізу. Спеціально для підготування карт до публікації в Інтернеті використовується програмний продукт GeoMedia WebMap Publisher.

7.3 Растрові ГІС

7.3.1 ERDAS Imagine 8.7

Растрова ГІС ERDAS Imagine 8.7 (належить корпорації Leica Geosystems) – це комплекс програмних продуктів для оброблення даних дистанційного зондування й роботи з просторовими даними. У наш час ця система є найпоширенішою у світі.

На відміну від багатьох сучасних ГІС, вона є багатоплатформною і встановлюється на звичайних персональних комп'ютерах (під управлінням Windows NT/2000/XP), а також на потужних робочих станціях серій Silicon Graphics SGI R4400 +(Під управлінням IRIX 6.5.x), Sun SPARCstation (під управлінням Solaris 7.0 і 8.0) і IBM RS/6000 Workstation (під управлінням AIX 4.3.3).

Саме внаслідок багатоплатформності, ця ГІС має дещо незвичний для звичайних користувачів інтерфейс, оскільки на різних платформах принципи побудови призначеного для користувача інтерфейсу різні, а за основу розробниками був узятий інтерфейс типу Unix (рис. 7.12, 7.13).

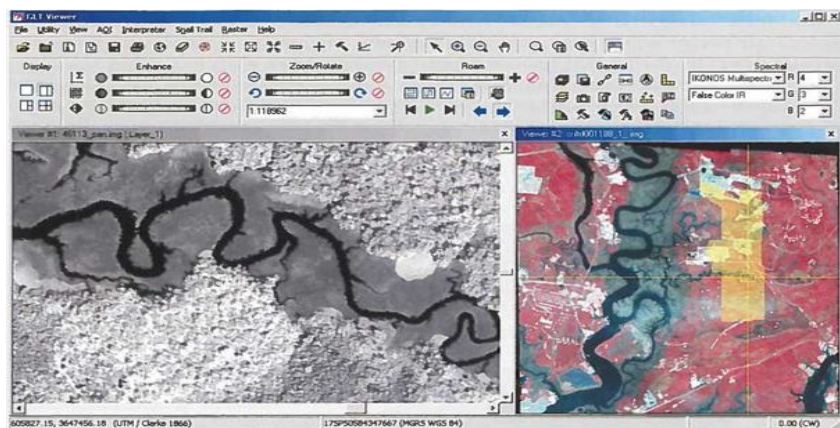


Рисунок 7.12 – Зовнішній вигляд растрової геоінформаційної системи ERDAS Imagine 8.7

Незважаючи на те що ERDAS Imagine 8.7 називають растровою ГІС, вона забезпечена багатьма функціями, властивими векторним програмним продуктам. Ця ГІС спочатку створювалася у тісній співпраці з компанією ESRI – розробником програмних продуктів серії ArcGIS, а тому ERDAS

Imagine 8.7 підтримує фактично всі різновиди даних, наявних у ArcGIS. Однак ERDAS Imagine використовується, насамперед, для роботи з тематичними й спектральними растрами, отриманими внаслідок аеро- або космозйомки.

ERDAS Imagine пропонується виробником у трьох версіях – від найпростішої до найскладнішої: Imagine Essentials, Imagine Advantage і Imagine Professional.

Пакет Imagine Essentials включає головні інструменти для роботи з картами: створення та управління шарами, редагування й візуалізація растрових і векторних даних.

Пакет Imagine Advantage додатково пропонує засоби для ортокоррекції зображень, побудови мозаїк растрів з безлічі окремих растрів, інтерполяції поверхонь на базі нерегулярного набору висотних точок. Крім того, у пакет входять численні інструменти для оброблення растрів і просторового аналізу. Для автоматизації роботи з растрами Imagine Advantage пропонує спеціальну мову програмування Spatial Modeling Language (SML).

Пакет Imagine Professional на додаток до всіх функцій, які є в Essentials і Advantage, пропонує ще декілька модулів:

1. Модуль Imagine Expert Classifier призначений для управління і застосування інформації, отриманої раніше під час дешифрування растрових зображень.

2. Модуль Multispectral Classification призначений для дешифрування мультиспектральних знімків за допомогою методів нечіткої логіки, керованої й некерованої класифікації.

3. Модуль Model Maker – це графічний інструмент, за допомогою якого можна швидко створити й виконати схему обробки знімків.

4. Модуль Imagine Radar Interpreter призначений для обробки растрових даних, отриманих за допомогою сенсорів, що працюють в невидимому діапазоні хвиль.

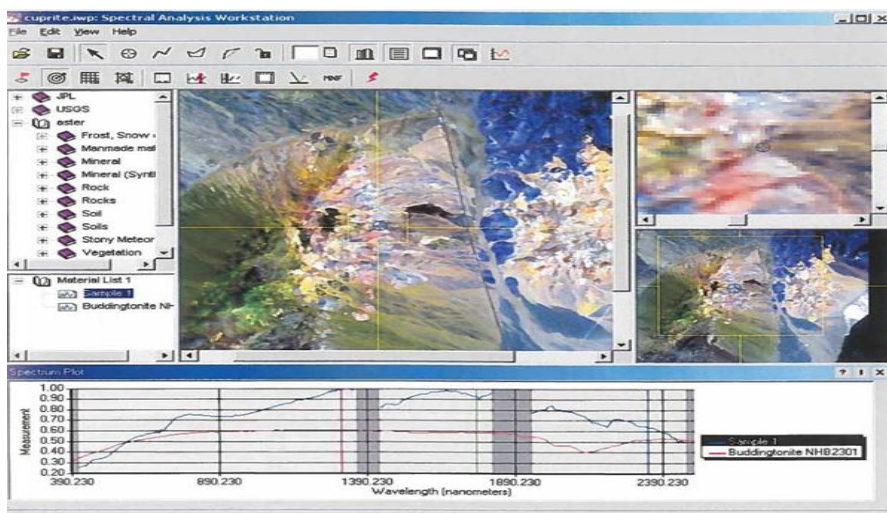


Рисунок 7.13 – Виконання спектрального аналізу растрових зображень у ГІС ERDAS Imagine 8.7

Крім базових пакетів, для ERDAS Imagine розроблено безліч додаткових програмних продуктів.

Наприклад, продукт ERDAS OrthoBASE дає змогу виконувати повний цикл фотограмметричних робіт для побудови точних тривимірних моделей місцевості за стереознімком.

Продукт ERDAS VirtualGIS призначений для тривимірної візуалізації просторових даних, зокрема моделі поверхні, растрів і векторних даних.

7.3.2 ER Mapper 7.0

Растрова ГІС ER Mapper (остання версія 7.0, 2005) виробництва компанії Earth Resource Mapper є однією з найпотужніших у світі програм для обробки ДДЗ за своєю функціональністю, вона поступається тільки ERDAS Imagine. Як і ERDAS Imagine, ER Mapper є багатоплатформною системою і працює на Windows 98/Me/NT/2000/XP, а також на різних варіантах комерційних Unix (IRIX, Solaris, AIX і ін).

ГІС ER Mapper може працювати з багатьма форматами растрових і векторних даних, які використовуються в ГІС, – усього понад 100 форматів.

Головним поняттям під час оброблення растрових даних є «алгоритм» – послідовність дій, які потрібно виконати, щоб отримати кінцеве оброблене зображення. Таким способом можна одноразово налаштувати процес обробки растру, а потім багаторазово його виконувати. До того ж проміжні результати обробки растрів, тобто проміжні растри, не потрібно зберігати на диску, оскільки вони одразу передаються на наступний етап обробки.

Одним із нововведень останніх версій цієї системи є застосування нового формату зберігання растрових даних ECW власної розробки. Цей формат дав змогу працювати з величезними за розміром файлами, які в стиснутому стані займають на диску до 50 Тб.

7.3.3 PHOTOMOD

Система PHOTOMOD є повноцінною фотограмметричною системою, призначеною для двовимірних і тривимірних цифрових моделей місцевості. Ця система керується операційною системою Windows 98/Me/NT/2000/XP на звичайних комп'ютерах.

Перевагою PHOTOMOD порівняно із західними аналогами (в особі ERDAS Imagine, ER Mapper і ін.) є менша вартість продукту при досить великій функціональності.

Система PHOTOMOD складається з декількох окремих модулів, комбінуючи які, можна вирішувати ті чи інші завдання загального технологічного ланцюжка побудови цифрової моделі місцевості.

До складу системи входять 10 головних модулів, а також утиліти для конфігурування, управління розміщенням даних, підготовки растрових файлів тощо.

Модуль **PHOTOMOD Montage Desktop** є головною керуючою оболонкою системи. Він використовується для створення, копіювання, видалення проектів, введення паспортних даних камер, візуалізації блоку зображень відповідно до етапу обробки, завантаження для перегляду й контролю триангуляційних моделей рельєфу, матриць висот, векторів тощо, а також для запуску інших модулів системи. Засобами цього модуля проводиться побудова єдиної ЦМР і ізоліній на блок зображень, а також імпорт та експорт тих чи інших різновидів об'єктів.

Модуль **PHOTOMOD AT** призначений для збирання даних для зрівнювання мереж блокової і маршрутної фототриангуляції, зокрема внутрішнього орієнтування, вимірювання опорних й сполучних точок. Вимірювання і перенесення сполучних і опорних точок може виконуватися в автоматичному режимі (за допомогою корелятора) або вручну в режимі стерео. Модуль містить засоби контролю точності за суміжними моделями й за залишковим поперечним паралаксом.

Модуль **PHOTOMOD Solver** призначений для зрівнювання мережі фототриангуляції. Інструменти контролю точності й графічні засоби подання й аналізу помилок забезпечують успішну реалізацію проекту фототриангуляції і, насамкінець, надійність і високу якість вихідних продуктів – ЦМР, ортофотопланів і цифрових карт. Засоби обміну через формат RAT-B дають змогу використовувати систему PHOTOMOD у поєднанні з іншими фотограмметричними системами.

Модуль **PHOTOMOD DTM** призначений для побудови ЦМР (у вигляді регулярної або нерегулярної триангуляційної мережі, пікетів, структурних ліній і горизонталей). Система підтримує набір алгоритмів автоматичної побудови триангуляційної ЦМР, а також дає змогу використовувати різні алгоритми всередині обраних областей моделі. Структурні лінії підмикаються до триангуляційної ЦМР для її уточнення уздовж протяжних форм рельєфу. Модель рельєфу редагується в режимі стерео і в спеціальному 3D-вікні. Модуль містить набір інструментів групового й одиничного редагування вершин і

трикутників триангуляційної ЦМР, автоматичної фільтрації викидів і контролю точності моделі рельєфу, редагування і згладжування структурних ліній і горизонталей, конвертації ЦМР між регулярним і нерегулярним форматами.

Модуль **PHOTOMOD StereoDraw** призначений для створення і редагування тривимірних векторних об'єктів у режимі стерео (із використанням засувів або анагліфічних окулярів), а також для проведення тривимірних обчислень. Цей модуль містить такі інструменти, як автоматичне переміщення курсора по рельєфу, двовимірне й тривимірне прилипання, векторизація сегментів ліній під прямим кутом, копіювання векторних об'єктів, автоматичне проведення лінії уздовж межі наявного об'єкта, побудова буферних зон тощо.

Модуль **PHOTOMOD Mosaic** призначений для створення ортофотопланів із використанням аерофотознімків або супутникового сканера зображень на базі ЦМР, побудованої в модулі PHOTOMOD DTM або імпортованої з набору форматів. Модуль містить зручний редактор проведення «порізів» для виокремлення фрагментів вихідних зображень, що включаються в мозаїку. Інструменти автоматичного яскравісного вирівнювання й обробки порізів забезпечують відсутність швів на вихідному зображенні. Ортофотоплан створюється із заданим розміром елемента на місцевості і геоприв'язкою (передбачений прямий експорт в MapInfo і ArcGIS, а також збереження мозаїки в формат GeoTIFF). Підтримується нарізка на аркуші або трапеції заданого користувачем розміру. Система здійснює контроль точності побудови ортофотоплану за опорними й контрольними точками.

Модуль **PHOTOMOD VectOr** призначений для створення електронних карт. Побудовані в модулі PHOTOMOD Mosaic ортозображення можуть бути завантажені в PHOTOMOD VectOr для моновекторизації. Модуль містить векторний редактор, можливості пошуку й виокремлення об'єктів за запитом, бібліотеку умовних знаків, інструменти створення зарамкового оформлення, зведення й нарізки номенклатурних аркушів, побудови буферних зон і багато інших функцій. До засобів роботи з моделлю рельєфу належать інструменти побудови горизонталей, профілів і моделей видимості.

Модуль **PHOTOMOD StereoVectOr** призначений для паралельної роботи з картою формату VectOr в стерео (PHOTOMOD StereoDraw) і моно вікном (PHOTOMOD VectOr). Моновікно використовується для відображення і редагування карти в умовних знаках. Під час роботи з модулем зручним є двомоніторний режим. Призначений, головним чином, для оновлення наявних векторних карт.

Модуль **PHOTOMOD StereoLink** призначений для оброблення в середовищі MicroStation стереозйомки об'єктів місцевості, зокрема об'єктів

цифрової моделі рельєфу. Модуль уможлиблює здійснення стереоспостережень орієнтованих пар знімків, корекцію фотометричних параметрів знімків стереопари, вимірювання просторових координат і стереозйомку об'єктів місцевості, а також створення таблиць об'єктів, які потрібно сфотографувати.

Модуль **PHOTOMOD ScanCorrect** призначений для геометричного калібрування планшетних сканерів. Модуль дає змогу використовувати недорогі поліграфічні сканери в точній цифровій фотограмметрії після їхнього спеціального калібрування. Зображення, оцифровані на планшетному сканері, виправляються цим модулем з метою усунення помилок сканування.

7.4 Засоби обробки геодезійних даних

Структуру і склад геодезійних робіт було розглянуто в п. 3.8. Розглянемо програмне забезпечення, що дає змогу виконати їхнє оброблення й передати результати в ГІС.

Процес оброблення геодезійних даних полягає у введенні даних у вигляді тахеометричного, пікетажного й нівелювального журналів, порівняння теодолітних (тахеометричних) мереж, розгляді геодезійних побудов (різноманітних зарубок), а також генерації підсумкових координат знімальних точок.

Для оброблення геодезійних даних використовують різноманітне програмне забезпечення, яке можна розподілити на два види: незалежні геодезійні програми і геодезійні програми, інтегровані в ГІС або САПР.

Фактично, обидва ці різновиди програм забезпечують вирішення визначених завдань, проте інтегровані програми різняться низкою істотних переваг.

По-перше, геодезійні дані в процесі введення можуть одразу ж відобразитися на плані місцевості у вигляді ліній проходження теодолітного ходу й напрямів на знімальні точки, даючи змогу дослідникові візуально оцінити дані й визначити свідомо неправдиві відомості (грубі помилки під час завдання кутів і відстаней). У незалежній геодезійній програмі, без картографічної основи, досить важко уявити, як прокладений теодолітний (тахеометричний) хід на місцевості і яким реальним об'єктам відповідають знімальні точки.

По-друге, оброблені геодезійні дані в середовищі ГІС і САПР можна безпосередньо передавати на об'єкти карти у вигляді обчислених координат, а також одразу заносити атрибути цих просторових об'єктів.

Незважаючи на солідні переваги інтеграції, у ГІС обробка геодезійних даних не є поширеною функцією. ГІС, орієнтовані на роботу в дрібному

масштабі, а також ГІС-переглядач взагалі не містять ніяких геодезійних функцій.

Деякі геодезійні програми дають змогу експортувати оброблені точки в деяких форматах, поширених у ГІС. Зазвичай це точкові шейп-файли (SHP), обмінні формати MapInfo (MIF) або AutoCAD (DXF).

Інтегровані геодезійні програми зазвичай є деяким додатковим модулем, що підмикається до базової ГІС. Такі модулі є в багатьох зарубіжних повнофункціональних ГІС: в ArcGIS, MapInfo, AutoCAD Map.

7.5 Векторизатор

Векторизація сканованих растрових даних є одним з найважливіших джерел просторових даних в ГІС (див. п. 3.6).

Усі програмні засоби для векторизації розподіляються на два різновиди: інтегровані в ГІС і незалежні.

7.5.1 MapEDIT 5.0

Векторизатор MapEDIT забезпечує вирішення таких завдань:

- виконання автоматизованої і ручної векторизації за монохромними й кольоровими растрами з поділом об'єктів по верствах;
- занесення атрибутивних даних об'єктів у базу даних одночасно з векторизацією;
- виправлення викривлень паперових оригіналів і виконання прив'язки карти до географічних координат;
- контроль коректності топологічних відношень введених об'єктів (побудова топології);
- експорт отриманих цифрових векторних карт і баз даних в базові поширені формати ГІС і САПР.

MapEDIT може працювати з монохромними і кольоровими растрами. Підтримуються понад 30 форматів, зокрема BMP, PCX, TIFF, Jpeg, GIF.

Оцифрування карти можливе без створення єдиного растрового поля з послідовним переходом від одного растру до іншого. За необхідності MapEDIT забезпечує «склеювання» фрагментів карти, що зберігаються в окремих растрових файлах, у єдиний файл, трансформувати (вирівнювати) растр із урахуванням довільної мережі картографічних реперів.

Для роботи з низькоякісними вихідними растрами передбачені також різноманітні функції предоброблення растру, а саме:

- видалення одноколірних об'єктів малої площі (сміття);

- виокремлення вибраних квітів, видалення й заміна кольору;
- згладжування ліній;
- зменшення товщини ліній;
- ручне малювання (для відновлення непомітних деталей зображення).

Оброблені растри можуть бути збережені в початкових растрових форматах.

Створення цифрової векторної карти. Векторизатор MapEE1T дає змогу задавати й змінювати структуру даних цифрової векторної карти: перелік шарів, типи об'єктів для кожного шару, параметри їхнього відображення, умови трасування тощо. Структура новостворюваної карти може також задаватися шляхом копіювання структури раніше створеної карти.

Векторизатор MapEB1T може використовуватися для редагування наявних цифрових векторних карт. Для цього передбачено можливість імпорту даних із файлів обмінного формату MIE геоінформаційної системи MapIпГо.

Автоматизація оцифрування (трасування, векторизація).

Автоматичне трасування виконується в двох режимах:

1. Трасування ліній. В даному режимі здійснюється автоматичне відстеження на растрі одноколірних ліній довільного типу зі збереженням отриманої траси у вигляді послідовності координат точок, відповідних середині растрової лінії. Ця процедура дозволяє автоматично долати перешкоди на лінії у вигляді обривів, розгалужень, перетинів з іншими растровими лініями.

2. Оконтурювання полігонів. У цьому режимі здійснюється автоматичне відстеження на растрі контурів одноколірних майданних областей довільного вигляду зі збереженням отриманого контуру у вигляді послідовності координат точок, що співпадають із внутрішнім кордоном області.

Ручна векторизація. У випадках, коли лінії й контури погано помітні, а автоматизована векторизація об'єктів ускладнена або неможлива, об'єкти цифрової векторної карти можуть вводитися за допомогою інструментів ручної векторизації. При ручній векторизації оператор ставить крапки на карті, поєднуючи їх з видимими на растрі об'єктами.

У процесі ручної векторизації може використовуватися режим поєднання з лінією растру, при якому поставлена крапка або відрізок підтягуються до середини векторизованої лінії на растрі.

Допоміжні режими. Під час автоматизованої і ручної векторизації положення вузлів ліній (контурів), що вводяться, може автоматично уточнюватися відповідно до задалегідь заданих особливостями лінії або контуру. Застосовуються такі опції уточнення:

1. *Поєднання з лінією вектора.* Якщо черговий поставлений вузол виявляється в безпосередній близькості від вузла або лінії раніше створеного векторного об'єкта, вузол поєднується з ними.

2. *Прямокутне скошення об'єкта.* Вузли контуру об'єкта зміщуються так, щоб з'єднувальна ламана лінія утворювала прямі задані кути.

3. *Паралельність вказаного відрізка,* забезпечується введенням лінії попередньо заданого базового відрізка.

Усі наведені режими можуть використовуватися одночасно.

Введення характеристик об'єктів в базу даних. Занесення атрибутивних даних, що характеризують об'єкт, у базу даних здійснюється в MapEDIT одночасно з векторизацією. Після закінчення введення чергового об'єкта цифрової векторної карти оператор може занести інформацію про об'єкт у базу даних. Тип об'єкта визначає структуру шляхом введення атрибутивних даних. Поля заповнюються значеннями, передбаченими для цього типу об'єкта за замовчуванням, або вводяться оператором. Для полів, які заповнюються оператором, може виконуватися перевірка шляхом введення значень.

Координування карти. Векторизатор MapEDIT забезпечує роботу з прямокутними й географічними системами координат. Підтримуються проекції Гаусса-Крюгера і конічні (рівнокутна, рівнопроміжна й рівновелика). Передбачена зміна параметрів проекцій користувачем.

Задання довільної кількості реперних точок із відомими координатами дає змогу отримати чітко визначену цифрову векторну карту й компенсувати деформації паперового оригіналу, обумовлені його друкуванням, зберіганням і скануванням. Для прискорення введення картографічних реперів передбачений імпорт їхніх координат із текстового файлу.

Перевірка топологічної коректності моделі даних. Векторизатор MapEDIT дає змогу перевіряти коректність топологічних відношень між об'єктами карти. виправляти помилки можна як в автоматичному, так і в інтерактивному режимах. MapEDIT підтримує нетопологічну й топологічну (із поміченням полігонів) моделі подання цифрової векторної карти. Перевірка коректності топологічних відношень об'єктів виконується для обох моделей.

7.5.2 Easy Trace PRO 8.0

Технологія, реалізована в пакеті Easy Trace PRO, будується на мозаїчному растрово-векторному полі, фактично необмежених розмірів. Розміри окремих растрів можуть перевищувати 2 Гб і мати будь-яку глибину кольоровості.

Багат шарова растрова мозаїка може складатися з довільної комбінації растрів різної кольоровості й масштабу.

Кількість векторних шарів в Easy Trace PRO не обмежена. Зі свого боку, кожен шар може містити до мільйона об'єктів. Таким чином, на одному робочому місці можна зібрати векторне покриття цілого міста, що містить сотні тисяч об'єктів і пов'язаних із ними атрибутивних даних.

Виокремимо деякі головні можливості векторизатора Easy Trace PRO для кожного етапу технологічного ланцюжка перенесення картографічної інформації з паперу в ГІС.

Етап 1. Сканування і введення растрової інформації. Сканування растрів може бути виконано безпосередньо з векторизатора або можна завантажити наявні файли в форматах PCX, BMP, RLE, TIFF, JPEG, CALS, CIT і DIB. Файли можна відображати з прозорими пікселями, створюючи багат шарові растрові пакети.

Етап 2. Обробка (підготовка) растрів. Векторизатор Easy Trace PRO для цього етапу виконує функції геометричної корекції і фільтрації растрів, прив'язки растрів, об'єднання растрових фрагментів в єдине ціле; підтримує операції кольороподілу і створення пакета тематичних растрових шарів для кольорових растрів. За необхідності зашумлені растри можна відредагувати уручну.

Етап 3. Векторизація. Векторизатор Easy Trace PRO може працювати в таких режимах векторизації: автоматичному, напівавтоматичному (самонавчатися), ручному, ортогоналізованому, лінеарізованому. Можна також виконувати операції виокремлення меж заливок і відновлення меж заштрихованих областей. Під час векторизації можна одразу ж вводити атрибутивні дані, а для типових значень атрибутів можна задати гарячі клавіші.

Етап 4. Редагування, зшивання і верифікація векторних даних. На цьому етапі векторизатор забезпечує імпортування векторних даних із поширених ГІС для подальшого злиття векторних фрагментів в єдине ціле і одночасного їхнього редагування. Векторизатор має вбудовані засоби визначення помилок і корекції створюваних даних.

Етап 5. Експортування матеріалів у ГІС. Результати можуть бути експортовані в базові формати ГІС і САПР: SHP, DXF, MIF, GEN, DGN, CSV, ASC, TOP. При цьому для растрів також зберігаються файли геоприв'язки у форматах TFW, CRT і TAB.

8 ЗАСТОСУВАННЯ ГІС

8.1 Довідкові ГІС

У наш час геоінформаційні технології широко застосовуються в найрізноманітніших сферах діяльності людини (див. п. 1.4).

Однією з найпростіших і зрозумілих для пересічного користувача сфер застосування геоінформаційних технологій є довідкові ГІС, функціями яких є:

- перегляд карти на екрані комп'ютера і роздрукування її фрагментів на принтері;
- отримання інформації за вказаними мишею на карті об'єктів;
- пошук об'єктів (будівель, підприємств, вулиць) на карті за ім'ям, адресою або іншим параметром;
- вимірювання відстаней і площ.

На сьогодні довідкові ГІС зазвичай, поширюються безкоштовно для користувача. Джерелом доходу для їхніх виробників є пряма або непряма реклама фірм, що розміщується іноді на самій карті.

З погляду програмної технології довідкові ГІС зазвичай реалізуються:

- 1) як окремий додаток;
- 2) як сторінка в Інтернеті.

У першому випадку додаток можна завантажити з Інтернету, встановити на своєму комп'ютері і безкоштовно використовувати. У даний час у багатьох великих містах вже з'явилися такі довідкові ГІС.

Другий випадок варто обговорити окремо. Для створення і публікації карт в Інтернеті провідні виробники ГІС пропонують свої власні інструменти, найвідомішими з яких є ArcIMS (ESRI, США), Autodesk MapGuide (Autodesk, США) і MapXtreme (MapInfo, США). Наприклад карта, доступна через браузер Internet на сайті компанії Rambler (<http://nakarte.rambler.ru/rnoscow>). Ця карта працює на основі картографічного сервера Internet Atlas компанії NetLogic.

Незважаючи на доступність інструментів для створення карт в Інтернеті, такі повноцінні Web-карти можна перерахувати по пальцях. Це пов'язано з двома проблемами: із секретністю і авторськими правами на картографічні матеріали. Як підсумок, підприємства витрачають великі кошти, закупаючи необхідні їм картографічні матеріали і, звісно, не поспішають ділитися ними з усім світом. Саме тому до останнього часу в Інтернеті не розміщувалося значущих Web-карт, які б користувалися великим попитом.

Ситуація різко змінилася у 2005 році, коли компанія Google випустила революційний сервіс Google Maps (<http://maps.google.com>), що включає

векторні карти і космознімки всієї території США і Канади, проте в майбутньому компанія Google планує підімкнути карти на всій Землі.



Рисунок 8.1 – Растрова карта в Google Maps

Переглядати карти в Google Maps можна трьома способами:

- 1) **Map** – тільки векторне зображення;
- 2) **Satellite** – тільки космознімки,
- 3) **Hybrid** – гібридне зображення, коли поверх космознімків напівпрозоро накладається векторна карта місцевості.



Рисунок 8.2 – Комплекс будівель МАДИ (ГТУ) в Google Maps

Наведені в Google Maps космічні знімки мають дві роздільні здатності – високу й низьку. Знімки з високої роздільної здатністю в наш час представлені майже на всій, освоєній людиною території США, Західної Європи і фрагментарно у великих містах інших частин світу (рис. 8.2–8.4). Для решти

поверхні Землі компанія Google пропонує знімки тільки з низькою роздільною здатністю, однак ситуація стрімко змінюється на краще.

Представлені в Google Maps космічні знімки отримані на підставі даних з супутника QuickBird компанії DigitalGlobe. Знімки з високою роздільною здатністю мають просторову роздільну здатність пікселів приблизно 60–70 см.



Рисунок 8.3 – Центральна будівля в Google Maps

Зауважимо, що супутник QuickBird забезпечує отримання космічних знімків з максимальною роздільною здатністю 60 см, але тільки чорно-білі. Кольорові знімки з супутника QuickBird можна отримувати тільки з роздільною здатністю 2 м. У Google Maps відображаються кольорові знімки з високою роздільною здатністю (до 60 см), отримані внаслідок підмішування до високоточних чорно-білих знімків колірною складника з кольорових знімків з меншою здатністю за допомогою алгоритму pan-sharpening. Приклад використання такого алгоритму наведено на рисунку 8.4.



Рисунок 8.4 – Поєднання чорно-білого знімка з високою роздільною здатністю (зліва) із менш чітким, але кольоровим знімком (в центрі) для отримання кольорового знімка з високою роздільною здатністю (праворуч) за допомогою алгоритму pan-sharpening

Визначальною особливістю сервісу Google Maps, яка забезпечила його приголомшливий успіх у всьому світі, є те, що він інтегрований з пошуковою системою Google, унаслідок чого створюються унікальні можливості для пошуку об'єктів на поверхні Землі. У рядку пошуку достатньо набрати назву міста, селища, вулиці чи підприємства або будь-яку пам'ятку в будь-якій частині світу – і пошукова система Google Maps знайде об'єкт і покаже його на карті.

Після виходу Google Maps корпорація Microsoft ще запропонувала широкому загалу аналогічний сервіс MSN Virtual Earth (<http://maps.microsoft.com>), який забезпечує фактично ті самі можливості (рис. 8.5). Цей сервіс компанія Microsoft побудувала на підставі свого картографічного сервера MapPoint Web Service, інтегрованого з текстовою пошуковою системою MSN Search.

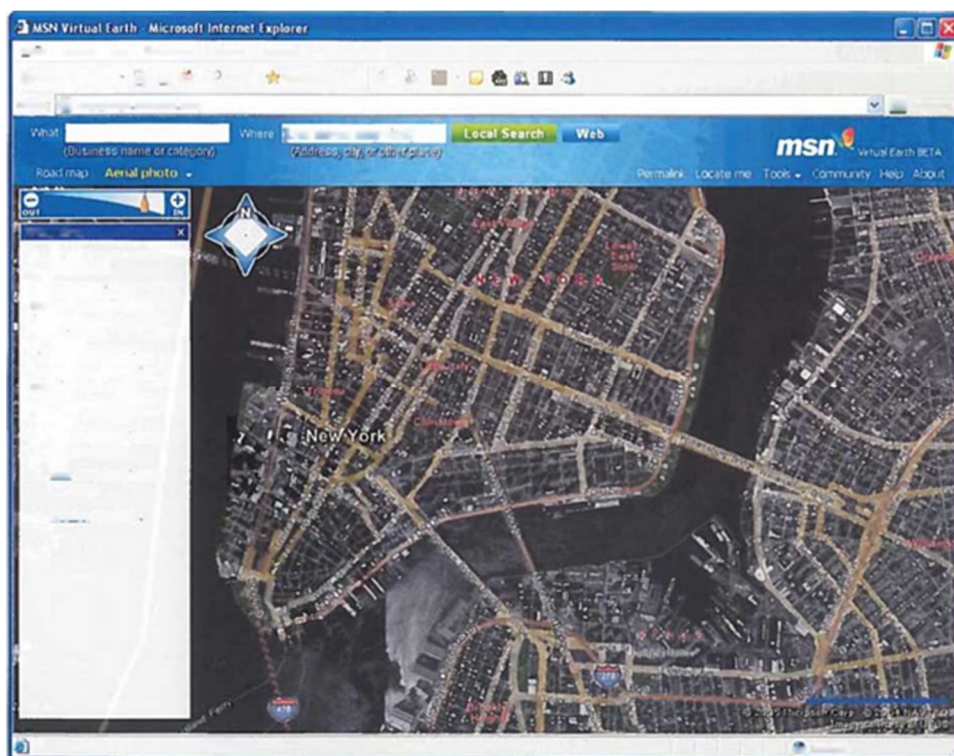


Рисунок 8.5 – Гібридна карта Нью-Йорка в MSN Virtual Earth

Незабаром після виходу продукту Google Maps корпорація Google представила ще один різновид довідкової ГІС – Google Earth, що дає змогу переглядати ті самі карти, що і в Google Maps, але вже в тривимірному вигляді. На додачу до двовимірних векторних карт і космознімків сервіс Google Earth пропонує тривимірні моделі найбільших міст світу, при цьому зберігаються функції пошуку об'єктів і отримання інформації (рис. 8.6). Наявна в Google Earth тривимірність ще досить обмежена і значно поступається

спеціалізованим програмним продуктам (див. п. 5.7), однак такого величезного масиву двовимірних і тривимірних даних (у розрахунку на весь світ) не пропонує жодна інша фірма світу.



Рисунок 8.6 – Тривимірна карта Нью-Йорка в Google Earth

8.2 Навігаційні ГІС

Найближчим часом ГІС-технології найбільше будуть застосовуватися у вигляді *навігаційних систем* – які складаються з приймача GPS, комп'ютера і цифрової карти. Призначенням такої навігаційної системи є відображення на екрані комп'ютера поточного розташування об'єктів у просторі, одержуваного за допомогою модуля GPS, і прокладання маршруту з видачею рекомендацій щодо виконання маневрів.

Однак тільки функціями навігації багато НС не обмежуються. Багато НС забезпечені функціями нанесення на наявні карти власних об'єктів: можна запам'ятати деякі точки на місцевості, траєкторію руху користувача тощо.

У міських умовах (поблизу високих будинків, у тунелях, під мостами) сигнал із супутника GPS може зникати, а тому навігаційна система не працює. Для усунення такого тимчасового пошкодження зв'язку із супутником, навігаційні системи доповнюються гіроскопами й давачами пришвидшення. Крім того, готуються для масового виходу на ринок навігаційні системи, що

використовують замість GPS мережі базових станцій мобільних телефонних мереж і Wi-Fi-мережі.

Відокремлюють декілька різновидів навігаційних систем:

Персональні навігаційні системи, які базуються на кишеньковому (rocket, КПК) або надолонному (handheld) персональному комп'ютері, що можна носити в кишені. Такі комп'ютери функціонують під керуванням різних спеціалізованих мобільних операційних систем типу Palm OS, проте в даний час все більшого поширення набувають КПК під управлінням Windows PC і Windows Mobile (рис. 8.7).

Останнім часом багато портативних комп'ютерів дають змогу виходити в Інтернет (через мережі мобільних телефонів або через Wi-Fi-мережі), у зв'язку з чим для навігаційних систем у КПК відкриваються нові перспективи. Деякі такі системи дають змогу за необхідності автоматично довантажувати з Інтернету необхідні карти місцевості, не перевантажуючи пам'ять кишенькового комп'ютера.



Рисунок 8.7 – Різноманітні портативні пристрої, із мобільного ГІС ArcPad і побудованих на базі технологій (зліва направо) handheld, WindowsPC, Pocket PC, Windows Mobile, Tablet PC

Останнім часом персональні навігаційні системи зазвичай будуються на базі мобільного ГІС ArcPad компанії ESRI (рис. 8.8). Ця ГІС може працювати майже на всіх сучасних мобільних платформах. ArcPad має користувацький інтерфейс, звичний для користувачів настільних продуктів компанії ESRI, а також дає змогу легко обмінюватися даними з усіма іншими продуктами ESRI, зокрема продуктами ArcGIS.

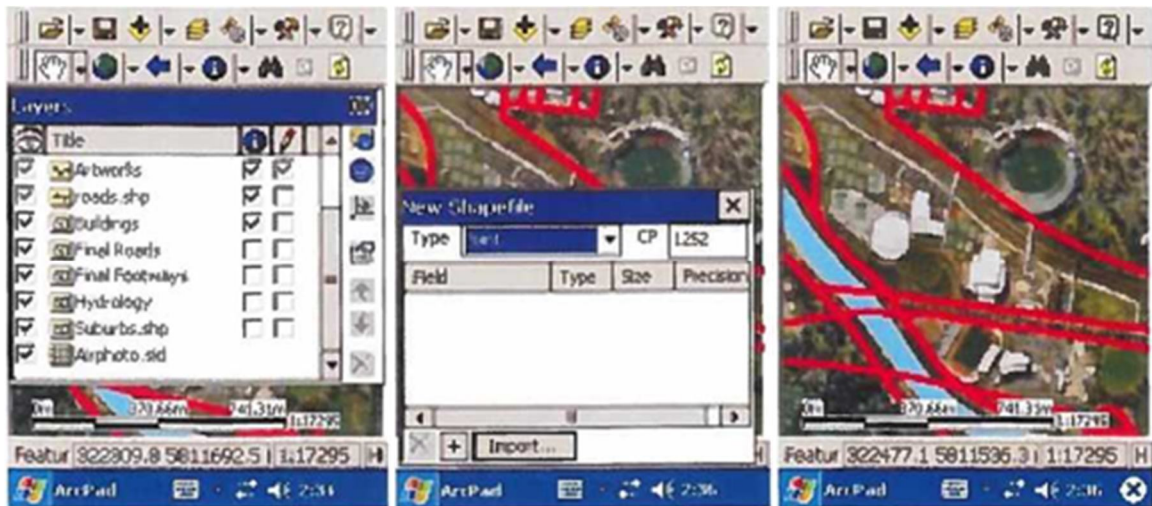


Рисунок 8.8 – Зовнішній вигляд навігаційної ГІС ArcPad, що функціонує під керуванням операційної системи Windows PC в КПК

Зазначимо, що провідні світові фірми-виробники стільникових телефонів найближчим часом збираються випустити на ринок мобільні телефони, які б забезпечать виконання функції навігаційної системи на підставі даних або GPS, або станцій стільникового зв'язку.

Автомобільні навігаційні системи (далі – АНС). На сьогодні майже всі провідні світові виробники автомобілів і багато незалежних фірм пропонують різні *автомобільні навігаційні системи (АНС)*, які працюють на штатних бортових (рис. 8.9) або додаткових комп'ютерах (рис. 8.10). Крім того, прослідковується тенденція до запровадження керування всім автомобілем одним потужним бортовим комп'ютером, який поєднує в собі функції контролера механіки автомобіля, мультимедійного комплексу й навігаційної системи.



Рисунок 8.9 – Вбудована навігаційна система в автомобілі BMW

Найбільш потужні сучасні автомобільні навігаційні системи відображають траєкторію руху автомобіля на карті і показують в тривимірному

вигляді, куди потрібно рухатися водієві (рис. 8.10) (у лівій частині екрана відображається карта, а в правій – тривимірна схема руху).



Рисунок 8.10 – Автомобільний розважально-навігаційний комплекс Sanyo NV-HD550

Морські навігаційні системи. Навігаційна система для морських перевезень ще простіша за автомобільну – її функціями є тільки відображення на електронній карті поточного становища судна на підставі даних GPS.

Авіаційні навігаційні системи (чотири-мірні системи супроводу польоту, оскільки береться до уваги рух у часі в тривимірному просторі). Майже практично на всіх сучасних моделях літаків звичайні механічні індикатори (висоти, курсу, тангажу, крену тощо.) замінені комп'ютерними дисплеями. Крім того, тепер літаки обладнують приладами супутникової навігації, унаслідок чого з'являється можливість відображати на електронній карті бортового комп'ютера розташування літака в просторі. До того ж термін ГІС для відображення карт виробниками авіоніки не вживається, хоча фактично саме такою системою фактично і є відповідні програмні продукти.

На рисунку 8.11 зображено типову кабіну сучасного літака з двома головними дисплеями, на одному з яких показується орієнтація літака в просторі (висота, курс, тангаж, крен, горизонтальна і вертикальна швидкості), а на іншому – навігаційна карта з розташуванням літака на ній.

Такої інформації цілком достатньо для виконання будь-яких різновидів цивільних польотів. Однак для військових цілей при виконанні завдань в умовах поганої видимості і незнайомої місцевості (наприклад при низькому польоті на винищувачі в горах) цього не завжди достатньо. Саме тому наступним логічним кроком у розвитку сучасної авіоніки є застосування концепції тривимірних ГІС для високоякісного відображення моделі місцевості на дисплеї пілота літака. Саме такі рішення вже зараз пропонують деякі

провідні світові виробники авіоніки, наприклад, німецька фірма Diehl Avionics Systems.

Зазначимо ще один програмний продукт, що є поєднанням авіаційних навігаційних систем, тривимірних ГІС і комп'ютерних ігор, комп'ютерну гру – Microsoft Flight Simulator 2004 року (рис. 8.11). Більшість знає цей продукт тільки як звичайну гру – симулятор польотів, однак його призначення на сьогодні розширюється. У створенні цього симулятора брали участь професійні пілоти, інструктори польотів і математики, що забезпечило створення симулятора, який дуже чітко моделює реальні польоти майже на всіх різновидах сучасних та історичних літаків із урахуванням найрізноманітніших (зокрема погодних) чинників. Ліворуч – дисплей з параметрами польоту, праворуч – з навігаційною картою.



Рисунок 8.11 – Кабіна сучасного літака із вбудованими навігаційними системами

У наш час Microsoft Flight Simulator використовується для професійного тренування пілотів багатьох країн світу. Для всіх найбільших аеропортів світу компанія Microsoft створила докладні карти й тривимірні моделі місцевості, що забезпечує дуже високий рівень реалістичності тренувань.

8.3 Диспетчерські ГІС

Диспетчерські ГІС призначені для автоматизації роботи диспетчера, що керує рухом різноманітних транспортних засобів. Насамперед такі ГІС дають змогу:

– контролювати в режимі реального часу фактичне переміщення транспортних засобів, обладнаних навігаційними пристроями;

- планувати оптимальні маршрути пересування транспортних засобів;
- проводити аналіз і накопичувати статистичні дані щодо використання транспортних засобів.

Диспетчерська система складається з центрального диспетчерського пункту, абонентського обладнання автомобілів, а також системи зв'язку та обміну даними. Абонентське обладнання автомобілів складається з приймача GPS і приймача для передачі координат із GPS у диспетчерський центр і отримання звітти керівних команд для водія.

Сучасна система зв'язку та передачі даних у міських умовах зазвичай базується на місцевій мережі зв'язку. Передача виконується за допомогою модему, SMS-повідомлень або спеціального режиму роботи стільникових мереж для передачі даних, наприклад за допомогою сервісу GPRS в мережах стандарту GSM.

Останнім часом у багатьох великих містах світу почали створювати спеціалізовані високошвидкісні комп'ютерні мережі передачі даних – так звані Wi-Fi-мережі, що дають змогу безпосередньо під'єднуватися до Інтернету за допомогою будь-якого кишенькового або портативного комп'ютера. Побудова диспетчерської системи на базі Wi-Fi-мережі технічно досить проста і відносно дешева порівняно з іншими варіантами системи зв'язку.

На сьогодні вартість приладів GPS із приймачем істотно знизилася, у зв'язку з чим стало можливим масово використовувати диспетчерські ГІС не тільки на транспорті. Наприклад, у США масово застосовуються такі системи в сільському господарстві для керування гуртами ми великої рогатої худоби, у зв'язку з чим на кожну корову встановлюється індивідуальне абонентське обладнання.

Наведена вище схема побудови диспетчерської системи на базі GPS дає змогу отримати високу точність координат об'єктів, що відслідковуються. Однак через відносно велику вартість абонентського обладнання (не менше кількох сотень доларів) до останнього часу воно застосовувалося дещо обмежено. Ситуація різко змінилася в 2005 році. Багато провідних стільникових компаній світу, а також і російські стільникові оператори мереж, зокрема «Мегафон» і MTS, пропонують на загальний принципів іншу схему побудови навігаційної системи без GPS-приймача. До того ж для визначення географічних координат об'єкта використовується будь-який стільниковий телефон у звичайній мережі стандарту GSM. Для цього вимірюється час проходження сигналу між стільниковим телефоном і декількома (не менше трьох) найближчими станціями стільникового зв'язку. На підставі цього і обчислюється розташування стільникового телефона.

Головним недоліком цієї технології є відносно невелика точність визначення координат – 50–1000 м (залежно від близькості до базових станцій і їх щільності), але цього цілком достатньо для вирішення широкого кола завдань. До того ж недоліки точності визначення координат компенсуються дешевизною технології, адже крім стільникового телефону інше обладнання не потрібно.

У наш час диспетчерські ГІС використовуються для диспетчеризації виїздів спеціальних служб (поліції, ДАІ, швидкої допомоги, пожежників, рятувальників, аварійних бригад інженерних мереж), для диспетчеризації викликів таксі, для відстеження руху маршрутного транспорту в місті, для управління рухом поїздів і морських суден, для відстеження ефективності використання вантажної техніки на кар'єрах, тракторів і комбайнів у сільському господарстві тощо.

Одним з типових прикладів диспетчерських систем є диспетчеризація викликів спеціальних, охоронних і аварійних служб, а також таксі. У разі надходження виклику диспетчер вводить адресу або безпосередньо вказує на карті в ГІС місце виникнення події. Після цього диспетчерська ГІС пропонує декілька варіантів найближчих вільних автомобілів. Диспетчеру залишається тільки обрати один із запропонованих варіантів і передати команду екіпажу автомобіля на виїзд (рис. 8.12).



Рисунок 8.12 – Диспетчерська ГІС для керування пожежними машинами (у центрі розміщується вогнище загоряння з областю задимлення; система вказує три найближчі вільні пожежні команди)

Особливістю руху містом є те, що в різних районах і на вулицях міста швидкість повідомлення може істотно відрізнятись, тому не завжди можна візуально помітити неприпустиме скупчення маршрутного транспорту на звичайній карті у звичайній проекції. У таких випадках дуже зручною є *лінійна*

схема руху транспорту, на якій весь маршрут надається як лінійний графік зі змінним масштабом. При цьому по горизонталі відкладається відстань від кінцевої зупинки або розрахунковий час повідомлення.

8.4 ГІС і бізнес

У сучасній ринковій економіці *бізнес* – будь-яка діяльність, спрямована на отримання прибутку. Це поняття стосується як дрібного бізнесу (приватні особи), так і діяльності великих транснаціональних корпорацій.

Геоінформаційні системи можуть використовуватися не тільки в тих різновидах діяльності, які безпосередньо пов'язані з великими просторовими об'єктами і явищами (транспорт, інженерними мережами, кадастром), але й у інших. Це обумовлено тим, що споживачами результатів діяльності будь-якого бізнесу, є, як і постачальники, такі фірми та окремі особи, які можуть перебувати у будь-якій точці Землі. Саме облік цих просторових аспектів (під час проведення маркетингових досліджень, планування бізнесу й керування його діяльністю) забезпечує істотне підвищення ефективності ведення бізнесу.

Розглянемо деякі такі сфери застосування ГІС.

Демографічний аналіз. Демографічний аналіз є базовим для прийняття рішень у багатьох сферах людської діяльності, зокрема і в бізнесі. Демографічні відомості (інформація про поточні та перспективні потреби й можливості клієнтів) важливі для аналізу потенційних клієнтів, які проживають на певній території; під час вибору майданчиків для будівництва магазинів, підприємств, пунктів обслуговування; під час виконання маркетингових досліджень і проведення рекламних кампаній.

За допомогою геоінформаційних систем створити тематичні карти, на яких можливе відображається інформація про віковий склад, середньодушові доходи населення, структуру витрат, переваги під час здійснення покупок і тощо. Візуально поєднуючи цю інформацію з іншими просторовими даними, можна прослідкувати закономірності і тенденції, очевидні при звичайному перегляді таблиць з такими даними.

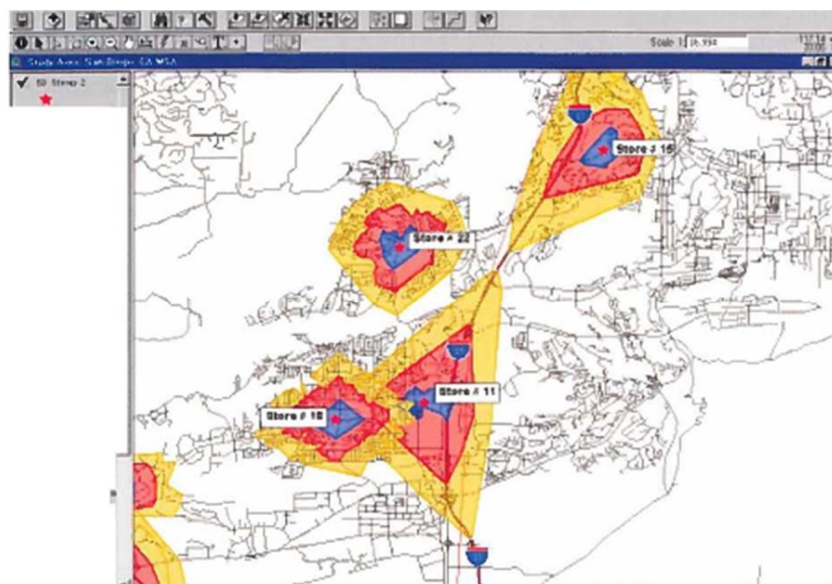


Рисунок 8.13 – Аналіз зон обслуговування магазинів

Вибір і аналіз місць розташування об'єктів. (Вкладеними полігонами показані області доступності магазинів в межах 1, 2 і 3 хв)

ГІС надає зручні засоби для вибору відповідних місць для розміщення нових магазинів, пунктів обслуговування, сервісних центрів, складів, заводів.

Обравши варіант розміщення об'єктів, за допомогою ГІС його можна детально проаналізувати. Наприклад, на рисунку 8.13 надано приклад аналізу зон обслуговування мережі магазинів у м. Сан-Дієго (США). Зіставивши в ГІС ці зони з демографічними даними, можна визначити потенційну кількість клієнтів, які проживають в цих зонах, середній рівень їх доходів тощо.

Вулична реклама. За допомогою ГІС можна оптимізувати вибір місць розміщення вуличних рекламних щитів. Вибравши певний варіант розміщення щитів на магістралях міста, можна прорахувати, скільки мешканців міста буде охоплено цією рекламою і чи не буде вона дублюватися уздовж деяких маршрутів руху автомобілів, а також встановити наявність недоліків уздовж інших. Для цього потрібно мати необхідні відомості про маршрути руху автомобілів у місті і демографічні відомості про людей, які прямують цими маршрутами. Типові маршрути руху окремих автомобілів і їхню кількість у місті зазвичай обчислюють на підставі демографічних відомостей за допомогою гравітаційної моделі кореспонденцій між транспортними районами міста (див. п. 6.4).

У разі, якщо отримати відомості про маршрути руху складно, для розрахування ефективності реклами використовують тільки інформацію про інтенсивність транспортних потоків поблизу рекламних щитів.

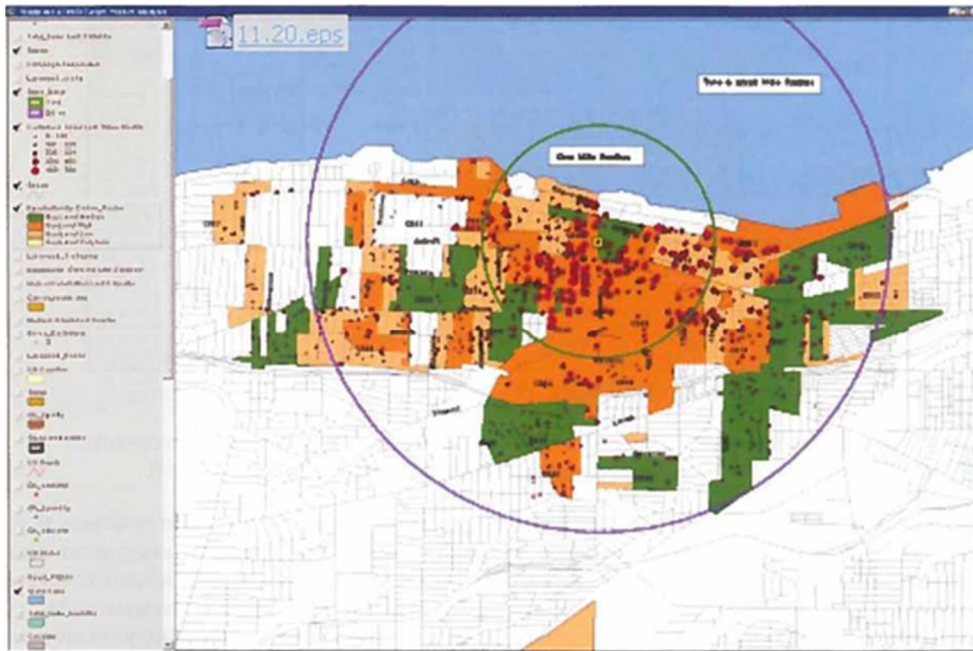


Рисунок 8.14 – Вибір мешканців міста для прямої розсилки реклами піцерії

Пряме розсилання реклами. Під час розсилання поштової реклами дуже важливо правильно обрати цільову групу клієнтів, яких ця реклама може зацікавити.

На рисунку 8.14 надано приклад карти в ГІС, на якій зображено піцерію і два концентричні кільця, що показують відстані від магазину в 1,6 і 4 кілометри. На карті як точки назначено домоволодіння. Більший розмір точок показує, що мешканці будинків останні три місяці витрачали більше коштів на замовлення в даному магазині. На карті також різними кольорами виділені квартали, до мешканців яких виконувалося різну кількість виїздів кур'єрів із замовленнями.

Таким чином, під час вибору адреси розсилання реклами перевагу варто надавати активним клієнтам, рівнем яких великий, а також мешканцям прилеглих кварталів тих, у яких часто замовляють піцу.

Купівля нерухомості. ГІС забезпечують оптимізацію процесу купівлі земельних ділянок та будівель на підставі аналізу близькості до транспортних комунікацій, ділових і промислових центрів, вивчаючи демографічні особливості населення поблизу потенційних об'єктів купівлі, рівня злочинності, місць розташування конкурентів, наявності потенційних природних і техногенних ризиків.

Як один із прикладів застосування ГІС-технологій можна привести сайт Американської асоціації ріелторів www.realtor.com. на якому можна підібрати підходящий будинок у будь-якому місці США по карті, перебуваючи вдома біля

комп'ютера (рис. 8.15). На сьогодні на цьому сайті пропонується до продажу понад 2 мільйони будинків.

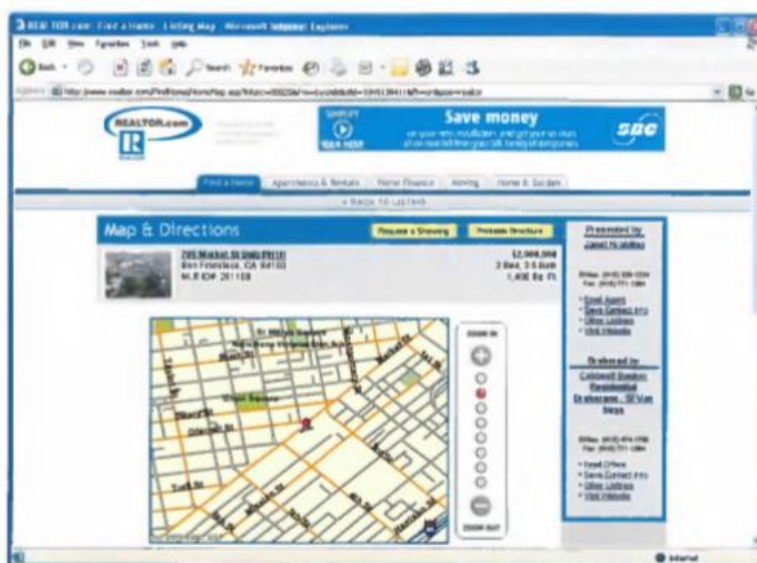


Рисунок 8.15 – Вибір об'єкта нерухомості на сайті Американської асоціації ріелторів www.realtor.com

Доставка товарів і послуг. Завдання оптимізації процесу доставки товарів і послуг забезпечує така галузь, як *логістика*. Із огляду на те, що всі постачальники й споживачі товарів географічно розподілені на поверхні Землі, очевидного є необхідність залучення геоінформаційних систем для оптимального вибору транспортних засобів, режимів їхньої експлуатації та маршрутів руху.

Транспортні ГІС призначені для вирішення завдань транспортної логістики, наочно надаючи на електронних картах просторове розміщення клієнтів і пропонуючи інструменти для оптимізації маршрутів переміщення транспортних засобів для мінімізації витрат під час доставки товарів і послуг.

Крім того, деякі сучасні логістичні ГІС виконують функції диспетчерських систем, у реальному режимі часу уможлиблюючи відслідковування маршрутів переміщення транспортних засобів із товарами й послугами, а також оперативно коригувати маршрути й обсяги перевезеного товару.

Сучасні логістичні ГІС забезпечують:

- Підмікнення будь-яких бази даних до карт і виконання геоприв'язки об'єктів за допомогою геокодування (див. п. 4.3);
- виконання оптимізації маршрутів руху вантажних і транспортних потоків під час доставки товарів і послуг, із урахуванням різних обмежень щодо обсягу складів, потреб магазинів, терміну придатності товарів тощо;

- проведення обліку організації дорожнього руху, вантажопідйомності й місткості транспорту, обмежень щодо прохідності на ділянках вулиць і доріг;
- формування різноманітних звітів.

Одним з типових представників таких ГІС є продукт ArcLogistics компанії ESRI. На рисунку 8.16 зображено зовнішній вигляд цього продукту на прикладі оптової компанії, що постачає своїм клієнтам (магазини) продукти харчування.

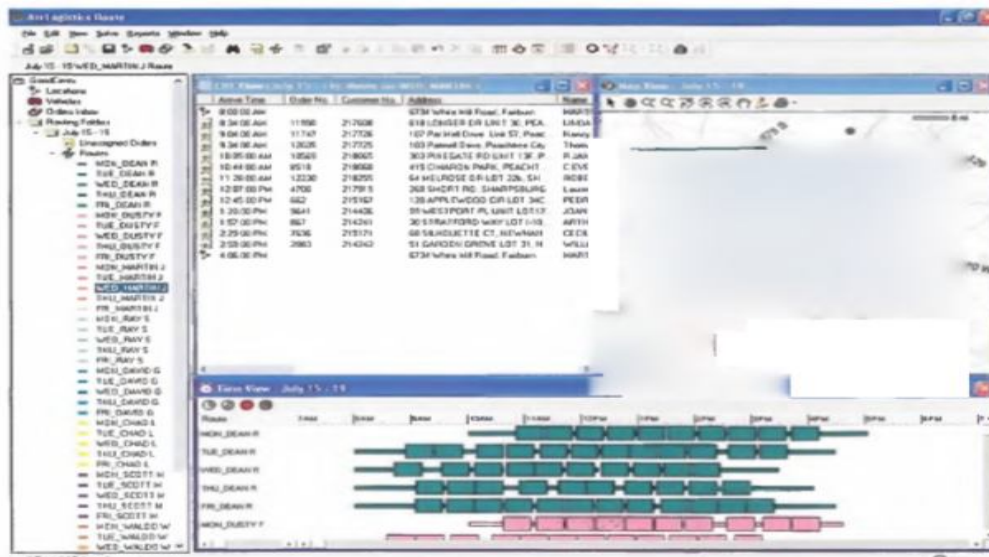


Рисунок 8.16 – Логістична ГІС ArcLogistics Route компанії ESRI

У лівій частині вікна зазначені всі заплановані робочі дні кожного водія. У центрі вікна для обраного з лівої частини водія вказується маршрут руху – усі пункти призначення. У правій частині на карті умовно відображаються всі магазини, які необхідно обслужити з різних складів. У нижній частині вікна подано діаграму використання робочого часу водіями вантажівок.

8.5 ГІС і органи влади

Одним з найважливіших завдань урядів будь-якого рівня влади є створення належної інфраструктури для сталого розвитку території та забезпечення гідного рівня життя населення. Одним з найважливіших елементів цієї інфраструктури є єдиний інформаційний простір країни, що включає безліч єдиних базових інформаційних ресурсів, зокрема реєстр населення, реєстр юридичних осіб і єдину картографічну базу – єдину інфраструктуру просторових даних.

Будь-яка міжнародна або національна інфраструктура просторових даних містить три базові складники:

- просторові дані (широкодоступні цифрові картографічні основи загального користування), що постійно регулярно оновлюються різними державними і приватними структурами;
- стандарти подання й обміну просторових даних;
- бази метадані (каталоги наявних даних).

Навіть на політичному рівні в нашій країні не досягнуто відповідного консенсусу.

На сьогодні в нашій країні цифрові просторові дані створюються різними відомствами, унаслідок чого їхня актуальність і достовірність ставляться під сумнів.

Навіть створювані державні інформаційні ресурси (Державний земельний кадастр, Державний банк цифрової геологічної інформації, Державний лісовий кадастр, водний кадастр тощо.) не узгоджені з єдиною картографічною базою, єдиної системного класифікаторів і побудови єдиних структур даних.

Ведення різноманітних кадастрів здійснюють не тільки органи влади. Органи будь-якого рівня влади (федерального, регіонального чи муніципального) забезпечують керівництво усім муніципальним господарством і виконують безліч важливих державних завдань. Геоінформаційні системи на урядовому рівні допомагають у плануванні діяльності уряду, формуванні та виконанні бюджету, зборі податків, використовують під час розроблення планів економічного розвитку, міського й регіонального планування. ГІС використовуються під час проведення виборів для забезпечення дотримання закону, оборони країни, збору податків, а також для виконання багатьох інших завдань.

Наведемо узагальнений перелік сфер застосування ГІС в органах влади:

- соціально-економічна ;
- економіка та фінанси;
- екологія, ресурси і природокористування;
- транспорт, енергетика і зв'язок;
- комунальне господарство і будівництво;
- сільське господарство;
- охорона здоров'я, освіта, наука і культура;
- громадський порядок, оборона і безпека;
- соціально-політична діяльність.

8.6 ГІС і містобудівний кадастр

Головні функції Державного містобудівного кадастру (далі – ДМК) узагальнено в Містобудівному кодексі.

Зазначимо, що в цьому законі не йдеться про використання геоінформаційних систем для ведення кадастрів: у главі 7 Кодексу регламентуються *інформаційні системи забезпечення містобудівної діяльності*, якими, по суті, і є використовувані геоінформаційні системи ведення містобудівного та інших різновидів кадастрів.

Відповідно до Містобудівного кодексу, містобудівний кадастр базується на відомостях:

- про документи територіального планування держави в частині, що стосується територій муніципальних утворень;
- про документи територіального планування суб'єктів держави в частині, що стосується територій муніципалітетів;
- про документи територіального планування муніципальних утворень, матеріали по їхньому обґрунтуванню;
- про правила землекористування й забудови;
- про документацію щодо планування територій;
- про вивченість природних і техногенних умов на підставі результатів інженерних пошуків;
- про вилучення й про резервування земельних ділянок для державних або муніципальних потреб;
- про геодезійні й картографічні матеріали.

Крім того, ГГК містить відомості про забудовані ділянки й земельні ділянки, що мають бути забудові, а також інші документи та матеріали.

Щодо комп'ютерної організованості геоінформаційна система ДМК складається з двох головних частин – картографічної та атрибутивної.

Атрибутивна база даних містить відомості про стан території та її використання.

Картографічна інформація надаватися в ДМК як сукупність карт топографічних планів різних масштабів і включає точний просторовий опис усіх необхідних об'єктів обліку.

З огляду на кількість і різноплановість відомостей, що зберігаються в ДМК, а також відповідно до Кодексу, містобудівний кадастр можна розглядати як зібрання незалежних блоків:

- 1) реєстр містобудівної документації;
- 2) земельний кадастр;

- 3) картографо-геодезійний кадастр;
- 4) геоінженерний кадастр;
- 5) кадастр нерухомості.

Реєстр містобудівної документації призначений для відстеження наявності й розробки нової документації, на підставі якої здійснюється містобудівне планування розвитку територій і поселень, а також їхня забудова.

Містобудівна документація має декілька рівнів: федеральний, регіональний і муніципальний. На муніципальному рівні вона містить відомості про планування розвитку територій поселень і про забудову поселень, які в свою боку включають: схеми містобудівного планування територій районів, сільських Рад; генеральні плани міських і сільських поселень (схеми функціонального використання та зонування території, схеми транспортного розвитку, схеми магістральних інженерних комунікацій і споруд, історико-архітектурний план, схеми розвитку будівельного комплексу, схеми затверджених зон охорони пам'яток історії та культури, схеми ландшафтно-екологічного зонування, схеми природних комплексів тощо.); проекти риси поселень; проекти планування частин територій поселень; проекти межування земель; проекти забудови кварталів, мікрорайонів тощо.

Містобудівні регламенти використання територій, що мають бути обов'язково занесені в підсистему містобудівної документації, встановлюються у таких зонах:

- а) особливо остережуваних територій;
- б) охорони пам'ятників історії та культури;
- в) санітарно-захисних;
- г) водоохоронних;
- г) залягання корисних копалин;
- д) надзвичайних екологічних ситуацій;
- е) що зазнають впливу надзвичайних ситуацій;
- є) житлових;
- ж) суспільно-ділових;
- з) виробничих;
- и) інженерної і транспортної інфраструктур;
- і) рекреаційних;
- ї) спеціального призначення;
- й) військових об'єктів та інших режимних територій;
- к) сільськогосподарських.

Крім цього, підсистема містобудівної документації повинна містити:

- а) початково-дозвільну документацію;
- б) відомості про містобудівну значущість територій;

- г) відомості про дотримання регламентів;
- г) містобудівні паспорти;
- д) іншу проектну та містобудівну документацію.

Земельний кадастр містить дані з реєстру федеральних земель, реєстру земель суб'єкта федерації, реєстру муніципальних земель і реєстру приватних земель. Реєстр муніципальних земель, зі свого боку, ділиться за функціональним використанням так: забудови сільськогосподарські, загального користування; запасу; зайняті лісами, промисловістю, транспортом тощо.

База даних земельного кадастру повинна містити дані щодо власників земель, їхньої оцінки, обмеження, сервітути тощо.

Наслідок специфіки поняття «земельна ділянка», яке передбачає заборону взаємного накладання різних ділянок одна на одну і відсутність проміжків між ділянками, для ведення земельного кадастру здебільшого використовується модель даних «покриття» (див. п. 2.3). Однак оскільки, що не всі ГІС підтримують цю модель (вона не проста на технічній реалізації), на практиці зазвичай використовується звичайна шейп-модель (див. п. 2.2), що може призвести виникнення до помилок під час роботи звичайних користувачів земельного кадастру.

Для ведення земельного кадастру використовуються найрізноманітніші ГІС і САПР: від повнофункціональних універсальних продуктів зарубіжного (ArcView GIS, ArcGIS, MapInfo, AutoCAD) і російського виробництва (Панорама, ObjectLand, Географ, IndorGIS) до таких вузькоспеціалізованих систем, як GeoCad Systems (ТОВ «Геокад плюс»), АІС Землекористування (ЮРКЦ Земля), ТИСА (НВО «Сібгеоінформатика»), Геополіс (РКЦ «Земля») тощо.

На рисунку 8.17 наведено фрагмент системи ведення земельного кадастру IndorGIS/Land, побудованої на базі геоінформаційної системи IndorGIS. Система забезпечує ведення графічної і атрибутивної баз даних щодо земельних ділянок, типів угідь, власникам ділянок і інших об'єктів. В системі передбачена автоматична генерація різноманітних звітів щодо окремих дільниць, кварталів і населених пунктів загалом. Наприклад, так можна отримати план земельної ділянки, баланс площ за складом угідь, список платників податків на заданій території тощо. Система IndorGIS/Land забезпечує тематичну розмальовку карти відповідно до типів угідь, приналежності ділянок та інших характеристик. Крім того, система автоматично обчислює площі ділянок за їхніми контурами, зокрема, з урахуванням окремо розташованих об'єктів та охоронних зон, що потрапляють всередину ділянки.

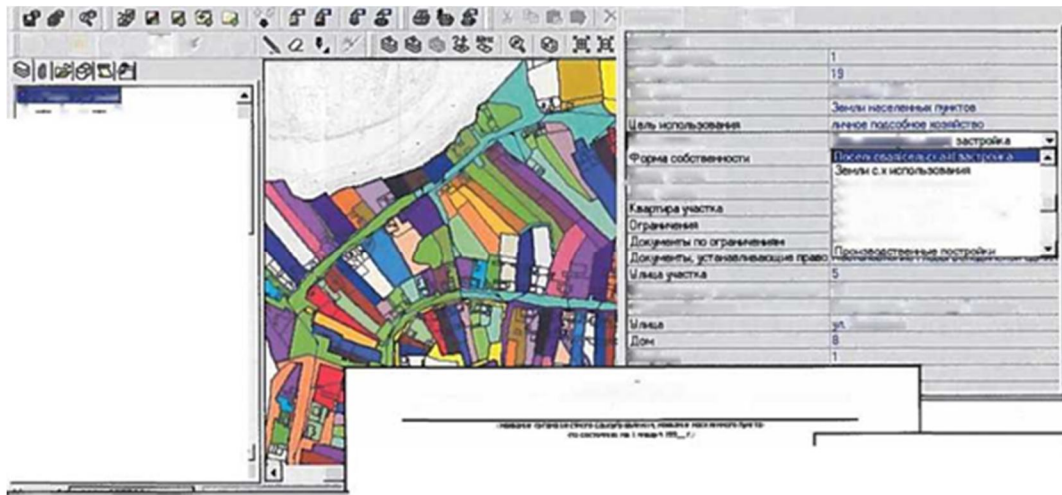


Рисунок 8.17 – Система проведення земельного кадастру на базі IndorGIS

Картографо-геодезійний кадастр містить такі геодезійні та картографічні відомості про територію:

- а) картографічні карти з масштабом 1: 5000 – 1:50 000;
- б) топографічні плани з масштабом 1: 500 – 1: 2000;
- в) карти-схеми з масштабом 1:25 000 – 1: 100 000;
- г) нормативно-правову й технічну документацію щодо геодезійного виробництва та архівного діловодства, зокрема інструкції, ліцензії, БНіП, постанови, положення, розпорядження тощо.;
- г) каталоги координат і висот;
- д) акти винесення в натуру осей об'єктів нерухомості і земельних ділянок.

Кадастр нерухомості включає адресний план муніципальної освіти, черговий план забудови, а також реєстр об'єктів нерухомості. Щодо об'єктів нерухомості база даних повинна містити відомості про місце розташування, адресу, належність, вартість, стадію будівництва, наявність правовстановлювальних документів, поверховість, матеріал стін тощо.

Геоінженерні кадастри містять відомості щодо:

- а) інженерно-геологічного забезпечення та екології, зокрема щодо мікрорейсмічного районування, гідрогеології, ґрунтів, ландшафтно-екологічного зонування, забруднення і шумів;
- б) інженерного забезпечення, зокрема всіх надземних і підземних лінійних споруд і технічних пристроях на них;
- в) транспортної інфраструктури;
- г) соціальної інфраструктури та упорядкування зокрема щодо демографії, вищів, дитячих садків кінотеатрів, поліклінік, аптек, спорткомплексів.

8.7 ГІС і планування розвитку міст та регіонів

Прийняття рішень щодо містобудівного розвитку передбачає :попередній розгляд різноманітних схем містобудівного планування територій, генеральних планів забудови, транспортних схем, схем зонування, проектів планування та забудови; оцінювання інвестицій у той чи інший варіант розвитку; оцінювання повернення інвестицій і загального економічного та соціального ефекту.

Традиційні безкомп'ютерні технології внаслідок своєї високої трудомісткості не забезпечували детального опрацювання і двох варіантів. Застосування сучасних комп'ютерних і, зокрема, геоінформаційних технологій уможливило істотно збільшити опрацьованих варіантів і підвищення якості їхнього опрацювання.

Для опрацювання декількох варіантів містобудівного розвитку території та їхнього порівняльного аналізу цілком достатньо штатні засоби поширених універсальних ГІС. Хоча деякі зарубіжні фірми пропонують спеціалізовані програмні продукти для підтримання прийняття рішення.

Один з таких найвідоміших продуктів – це Scenario 360 компанії CommunityViz (США). Цей продукт працює як надбудова до ГІС ArcView GIS 3.2 і ArcGIS версій 8.x/9.0. Компанія-виробник системи Scenario 360 позиціонує її як систему підтримки прийняття рішень на базі ГІС для проектувальників і менеджерів.

Система Scenario 360 забезпечує перегляд, проаналізувати і усвідомлення наслідків прийняття тих чи інших варіантів (сценаріїв). Наведемо перелік способів використання Scenario 360, рекомендованих фірмою-виробником:

- комплексне містобудівне планування;
- вибір будівельних майданчиків і їхнє оцінювання;
- аналіз поточних містобудівних рішень;
- аналіз пропозицій щодо розвитку;
- оцінювання інвестицій;
- візуальний аналіз впливу різних чинників;
- оцінювання земель;
- аналіз стабільності розвитку;
- оцінювання впливу на навколишнє середовище;
- планування лісогосподарських заходів;
- оцінювання пожежонебезпеки;
- оцінювання зонування території;
- керування визначенням якості водних басейнів.

На рисунку 8.18 наведено зовнішній вигляд системи Scenario 360, у якій подано два варіанти зонування територій. У верхній частині зображено дві карти для двох варіантів зонування, на яких різними кольорами показано зони з різним ступінем придатності для проживання людей. Придатність обумовлюється функціональним призначенням цих та суміжних зон, способом забудови території, транспортною системою тощо.

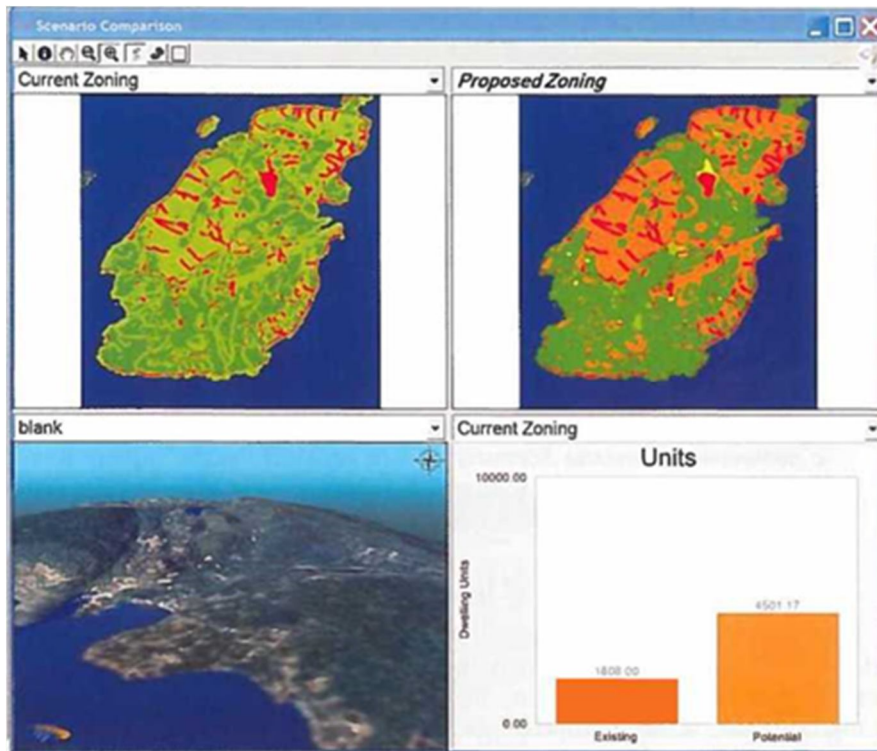


Рисунок 8.18 – Розробка і порівняння двох варіантів зонування території за допомогою системи Scenario 360

На рисунку 8.19 подано фрагмент цієї ж системи Scenario 360 при порівнянні трьох різних варіантів комплексного містобудівного планування забудови території: рідкісна («сільська») забудова, щільна котеджна забудова і забудова малоповерховими багатосімейними будинками. У нижній частині екрана у вигляді графіків наведені результати укрупненого порівняльного економічного аналізу цих варіантів, зокрема такі параметри як кількість дітей, транспортні потоки, збирання податків, потреби щодо водопроводу, кількість будинків тощо.



Рисунок 8.19 – Економічне оцінювання трьох варіантів забудови території за допомогою системи Scenario 360

Для кожного варіанта на підставі схеми зонування, транспортної схеми, прогнозованої чисельності населення, кількості домоволодінь система Scenario 360 уможливує розрахування та подання у вигляді діаграм обсягів транспортних потоків, потреби щодо водопостачання та електрики, збирання податків тощо. (у верхній частині екрану показаний тривимірний вигляд цих варіантів, а в нижній – прогнозні оцінки).

8.8 ГІС та інженерні мережі

У найзагальнішому розумінні інженерні мережі можуть бути трубопровідними (відповідно тепловими, газовими, вентиляційними, нафтогазовими тощо.), кабельними (електричними, телефонними, телевізійними, комп'ютерними тощо.) і транспортними (автодорожніми, залізничними та ін.). Незважаючи на таку велику різноманітність, у мережі об'єднуються просторовістю розташування на поверхні Землі. Саме тому ГІС є незамінним інструментом на всіх етапах життєвого циклу мереж: від планування розвитку, проектування й будівництва мереж до експлуатації та управління режимами їхньої роботи. На сьогодні ГІС найбільше застосовується під час експлуатації і управління режимами роботи інженерних мереж. Зазначимо, що фактично для всіх різновидів інженерних мереж розроблено багато потужних ГІС, що уможливають автоматизацію найрізноманітніших аспектів експлуатації інженерних мереж.

Розглянемо одне з комплексних рішень, які пропонуються на ринку компанією «ІНДОРСОФТ». Ця компанія пропонує рішення для електричних (IndorGIS / Power), водопровідних (IndorGIS / Water), теплових (IndorGIS / Heat) і газових (IndorGIS / Gas) мереж, а також для автомобільних доріг (IndorGIS / Road, див.розд.10). Усі ці продукти побудовані за єдиною методикою на базі універсальної ГІС IndorGIS, тому для прикладу розглянемо електричні мережі.

Призначенням і функціями IndorGIS / Power є:

1) ведення всієї технічної і технологічної інформації за всіма об'єктами електричних мереж, а саме зображення об'єктів і обладнання на схемах, плани споруд і карт місцевості; зображення технічних паспортів об'єктів та обладнання, а також їх складових частин; уявлення експлуатаційної інформації (опису ремонтів, оглядів, випробувань, робіт, несправностей тощо); зображення документації щодо об'єктів і поточної документації, що формується в процесі експлуатації;

2) вирішення завдань, пов'язаних із точним розташуванням трас ліній електропередач і планів підстанцій на карті місцевості. На підставі цього вирішуються такі завдання: подання трас ЛЕП та інших інженерних трас, узгодження робіт, формування зон відчуження, обтяження і взаємовплив, формування профілів трас ліній із урахуванням провисання проводів; оцінювання впливу різних природних і техногенних факторів; чітке уявлення про траси ліній необхідних систем координат для вирішення завдань, узгодження землекористування й межевої справи;

3) вирішення завдань оперативного отримання інформації про об'єкти, зокрема пошук за назвою, розташуванням, адресою, отримання інформації про об'єкт, вказаний на схемі, карті, плані;

4) автоматичне формування планів робіт на підставі наявної інформації про несправності, проведені роботи й поточні технічні параметри об'єктів;

5) автоматизація робіт із оперативними диспетчерськими схемами: зазначення стану комутаторів і об'єктів, виділення кольором відімкнених об'єктів, виділення кольором фідерів, ведення журналів дат і причин перемикачів.

6) робота з абонентами: відображення їх на карті із зазначенням живлення фідерів; автоматичне формування списку відімкнення абонентів;

7) інтегрування з системою розрахунків усталених режимів. Ця функція дає змогу автоматизувати процес розрахування поточного режиму мережі на підставі актуальних даних, одержуваних з інформаційної системи.

Геоінформаційна система IndorGIS/Power складається з декількох розділів: наборів карт або схем, призначених для виконання деякого циклу робіт, і може розглядатися як автоматизований засіб для служб ліній і

підстанцій, виробництв воєнного, технічного та абонентського відділів, диспетчерської служби, служби релейного захисту та інших користувачів інформаційної системи. Кожен розділ характеризується набором різновидів і уявлень об'єктів, а також режимом роботи з цими об'єктами.

Розглянемо типові розділи системи IndorGIS/Power.

Розділ 1. Траси ЛЕП і плани підстанцій на карті місцевості (плани території). Цей розділ призначений для служб ліній і підстанцій, а також для відділу узгодження. У розділі представлені траси ЛЕП і плани підстанцій (рис. 8.20), суміщені з детальною електронною картою місцевості. Траси ЛЕП відображають розташування й плани опертів, фундаментів, контурів заземлення, габарити прогонів. Плани підстанцій становлять плани фундаментів, споруд та обладнання, ошиновці, контури заземлення, кабельні канали, під'їзні шляхи й контури заземлення різних шарів. На карті місцевості зображені контури (можливі й поверхові плани) будівель і споруд, траси інженерних комунікацій, вулично-дорожня мережа, різновиди угідь, гідрографія, рельєф.

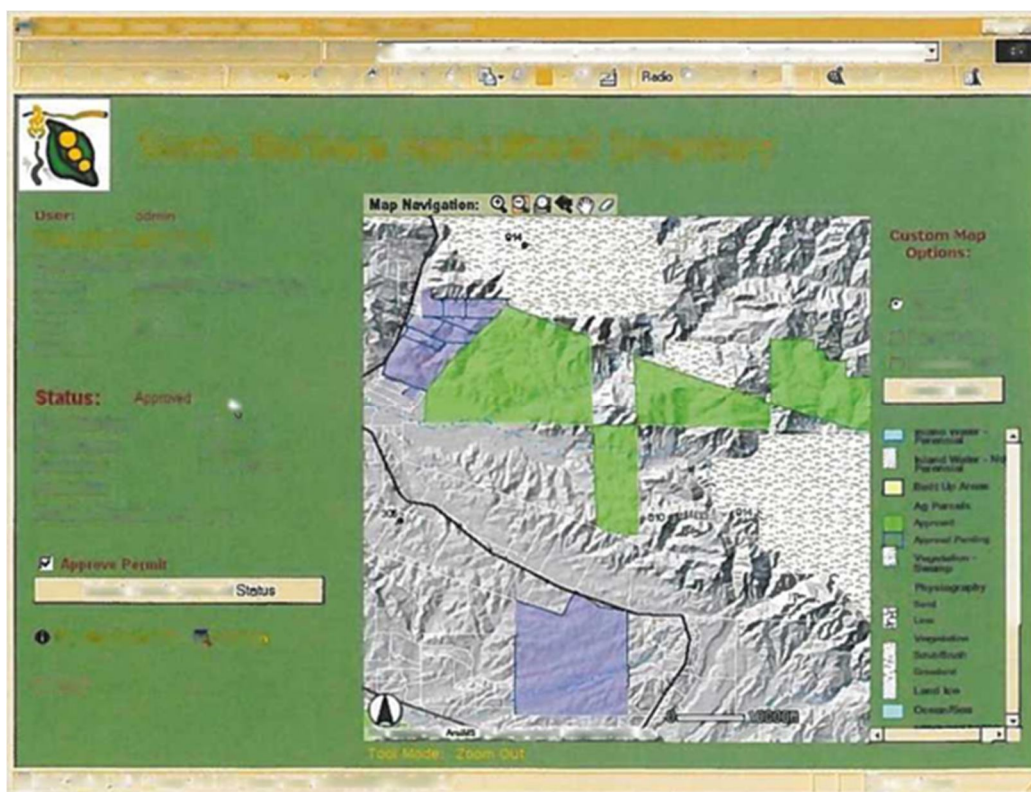


Рисунок 8.20 – Кадастр сільськогосподарських земель Санта-Барбари

Розділ 2. Технологічна схема на карті місцевості. Цей розділ призначений для виробничого й технічного відділів, служби підстанцій, релейного захисту, абонентського відділу. У цьому розділі представлені технологічні схеми підстанцій і схеми ліній електропередач, а також умовне

розташування абонентів. Підстанції схематично зображуються на карті в місцях їх приблизного розташування. Лінії електропередач також представлені схематично. У разі збільшення масштабу перегляду, у контурах підстанцій з'являються їхні оперативні технологічні схеми. У розділі представлені обладнання підстанцій, а також абоненти, розміщені на карті.

Розділ 3. Оперативна (диспетчерська) схема. Цей розділ головним чином призначений для диспетчерської служби і служби режимів. У ньому розглянуто спрощену однолінійну схему всієї мережі – аналог диспетчерського щита .

Особливістю розділу порівняно з іншими є те, що на оперативній схемі можна одночасно представляти мережі різних класів напруг – від 1100 кВ до 0,4 кВ. До того ж з метою уникнення перевантаженості схеми мережі нижчих класів напруг зображуються в зменшених масштабах. При збільшенні масштабу вони з'являються на схемі, а при зменшенні – приховуються.

Для роботи з певним об'єктом потрібно вказати його зображення в будь-якому з розділів ,після чого буде здійснено певну дію з об'єктом (перегляд або редагування паспортів, робіт, змінювання стану, розташування, форми й розмірів тощо.)

Усі дані, які містяться в геоінформаційній системі ГпбогШБ / Рошег, можна передати безпосередньо в комплекс розрахування усталених режимів IndorCircuit – одну з найпотужніших систем цього класу, пропонувану на ринку.

Програмний комплекс IndorCircuit призначений для аналізу поточних режимів, можливих після аварійних ситуацій із оцінкою варіантів резервування харчування, формування оптимального розімкненого графа мережі, режимної оцінки різних варіантів розвитку мереж, вирішення завдання введення режиму в допустиму область напруги. Крім того, цей комплекс дає змогу розрахувати покази струму коротких замикань усіх різновидів і селективність захисту автоматики.

Зазначимо, що оперативні схеми можна також використати з метою інтеграції з телеметричними системами для відображення поточного стану комутаторів і показників вимірювань.

8.9 ГІС і залізничний транспорт

Залізничний транспорт і дорожнє господарство за своїм функціональним призначенням, за методами й засобами управління тісно пов'язані з дорожнім

господарством і обслуговуються автомобільним транспортом. Без огляду на це досвід, набутий в одній зі сфер транспорту, можна застосовувати в інших.



Рисунок 8.21 – Схема міжнародних транспортних коридорів Європа – Азія

Відділення покликано вирішити такі завдання:

- координування робіт, розроблення та впровадження геоінформаційних технологій в управлінні залізничним транспортом;
- автоматизація управління інфраструктурою залізничного транспорту;
- забезпечення інформаційної взаємодії з автоматизованими системами управління перевезеннями;
- забезпечення інформаційної взаємодії з автоматизованими системами управління безпекою руху;
- автоматизація стратегічного моніторингу експлуатаційних потужностей залізнодорожнього транспорту;
- створення системи автоматизованого ведення нормативно-довідкової інформації галузі;
- автоматизація управління майновим комплексом федерального залізничного транспорту;
- Створення єдиного інформаційно-обчислювального середовища й загальносистемних програмно-технічних комплексів для функціонування інформаційних технологій.

Геоінформаційні технології активно розробляються і впроваджуються в МПС з 2000 року.

На сьогодні з метою автоматизованого вирішення завдань роботи ведуться за такими головними напрямками:

1. **Управління перевізним процесом.** ГІС використовуються для диспетчеризації процесу доставки пасажирів і вантажів (рис. 8.22).



Рисунок 8.22 – Центральний диспетчерський пункт в ВАТ РЖД

2. **Управління інфраструктурою.** У цій сфері ГІС використовуються для відображення різних даних щодо інфраструктури окремих (12) служб на схемах доріг. У разі зміни ситуації фахівці служб змінюють атрибутивні дані в базі даних. Графічне зображення змінюється автоматично, відповідно до цих змін.

3. **Підвищення безпеки перевезень.** Головним призначенням ГІС є підвищення ілюстративності відображення найрізноманітніших даних щодо обставин в розрізі доріг, ділянок, перегонів, станцій, парків. Крім того, тут можуть бути відображені небезпечні й негабаритні місця на схемах усіх рівнів.

4. **Забезпечення довідковою інформацією.** Ця сфера застосування ГІС є найрозповсюдженішою. За допомогою ГІС можна подати таку інформацію:

– *схема мережі залізниць*, зокрема конфігурацію ділянок і співвідносне розташування станцій, а також атрибутивна інформація стосовно станцій, дільниць, характеристик визначальних, стикових станцій, кількості шляхів і **електрифікованих перегонів**;

– *схеми диспетчерських ділянок, зокрема* відомості по дорожнього розвитку в межах диспетчерської ділянки і план-профіль колії за головним ходом;

– *масштабні схеми станцій, зокрема* інформацію про конфігурацію й розташування шляхів, стрілок, будівель і світлофорів, а також атрибутивну інформацію про об'єкти схеми (експлікації шляхів, стрілок і будов, відомість відстаней).

8.10 ГІС і сільське господарство

Сільське господарство є в багатьох країнах є досить прибутковою справою і в нього вкладаються великі кошти.

Провідними сферами застосування ГІС в агропромисловому комплексі – це управління виробництвом сільськогосподарської продукції, її транспортуванням та збутом.

У сфері виробництва сільгосппродукції дуже важливим є комплексний облік найрізноманітнішої інформації про землю, зокрема таких відомостей:

- типи і характеристики ґрунтів;
- вміст мінеральних речовин у ґрунті;
- цифрова модель рельєфу;
- погодні та кліматичні умови;
- гідрологічні умови;
- типи посівів і багаторічна динаміка врожайності;
- типи проведених механічної і хімічної обробки ґрунтів;
- просторовий розподіл захворювання культур;
- просторовий розподіл шкідливих комах;
- відомості про джерела й типи забруднення навколишнього середовища.

Якщо ця інформація буде регулярно оновлюватися (будуть постійно брати проби ґрунтів і рослин, виконуватимуть метеорологічні вимірювання) і узагальнюватися в ГІС, то можна буде забезпечити провадження так званого *точного сільськогосподарського виробництва* (землеробство високої точності, англ. precision farming, precision agriculture). Цей новий метод управління сільськогосподарським виробництвом є досить революційним, але він вже забезпечив істотне підвищення ефективності роботи багатьох зарубіжних сільськогосподарських підприємств.

Головною відмінністю точного сільгоспвиробництва (на відміну від старих методів) є так зване «локальне (індивідуальне, точкове) втручання». Ідеться про те, щоб на підставі комплексного аналізу найрізноманітніших даних для підвищення продуктивності виробництва для трактористів приймалося

рішення тільки про локальне внесення добрив і отрутохімікатів у ґрунт, щоденно складати детальні карти, куди і в якій кількості потрібно вносити добрива.

Використання сучасних ГІС-технологій (зокрема актуальних даних дистанційного зондування Землі) дає змогу в оперативному режимі складати карти стану посівів на поточний момент. Наприклад, на ділянках з найкращим проростанням посівів швидше зменшуються запаси азоту в ґрунтах. Таке раннє визначення відмінності стану посівів дає змогу своєчасно визначати ті ділянки полів, на яких необхідно додатково внести добрива й отрутохімікати.

Зазначимо, що ще одним способом інноваційного застосування ГІС у тваринництві є управління розведенням худоби.

У наш час ГІС застосовуються для оптимального управління полями для випасу худоби: у ГІС збирають і аналізують відомості про структуру та стан цих полів.

Крім того, ГІС використовуються для моніторингу стад або навіть окремих екземплярів за допомогою індивідуальних GPS-приймачів з радіопередавачами (див. п. 8.3).

8.11 ГІС і лісове господарство

У наш час у багатьох країнах світу створені спеціалізовані геоінформаційні системи, призначені для управління лісовим господарством. За допомогою ГІС відносно легко вирішувати завдання розробки довгострокової стратегії поставок деревини, складання прогнозів запасів, вибору системи лісозаготівлі, вибору варіантів будівництва доріг, виконання візуального аналізу ландшафту, встановлення меж природних середовищ існування, моделювання сценаріїв поширення лісових пожеж, вибору місць розташування пожежних вишок (рис. 8.23), захворювання рослин і тварин, здійснення тактичного планування щодо ліквідації пожеж тощо.

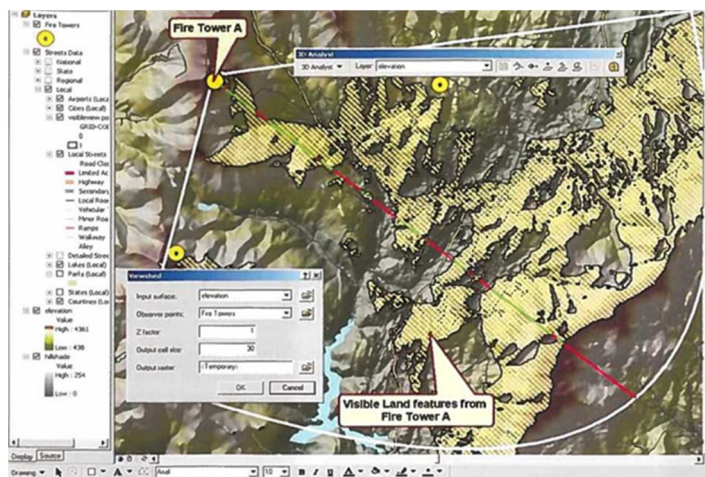


Рисунок 8.23 – Планування місць розташування пожежних вишок у лісі

8.12 ГІС і надровикористання

У наш час геоінформаційні системи застосовуються у сфері надрокористування дуже широко. Найрозповсюдженіший напрям застосування ГІС – це створення і зберігання різноманітної геологічної і топографічної інформації: різноманітних видів геологічних, географічних і топографічних карт, планів, геологічних перерізів, даних дистанційного зондування Землі тощо.

На сьогодні ГБЦГІ є багаторівневою територіально розподіленою системою, що включає фонд цифрової геологічної інформації, а також комплекс нормативно-правових і програмно-технічних технологій, що забезпечують збір, облік, зберігання, захист і використання просторової інформації, отриманої шляхом геологічного вивчення та використання надр.

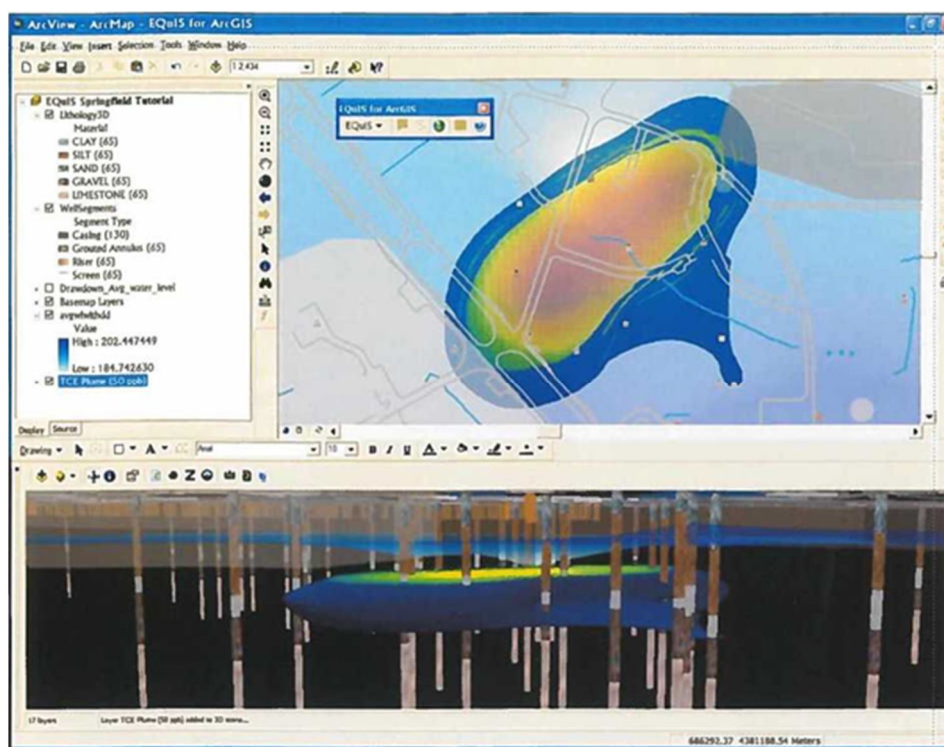


Рисунок 8.24 – Геологічна інформаційна система EQulS компанії Earth Soft

Головною відмінністю комп'ютерних геологічних карт порівняно зі звичайних паперовими є, звісно, величезні можливості для просторового аналізу геологічних даних. Наприклад, у мінерально-сировинній сфері вуглеводневої сировинної бази за допомогою ГІС вирішують такі завдання:

1. Оцінювання мінерально-сировинної бази регіонів, надрокористувачів, ліцензійних ділянок, родовищ щодо динаміки запасів і ресурсів, їхнього

відтворення, темпів приросту запасів і видобутку, забезпеченості видобутку запасами.

2. Раціоналізація надрокористування щодо оцінки виконання умов за/проти, угод у частині рівнів видобутку й відтворення ресурсної бази.

3. Виокремлення об'єктів для планування першочергових об'єктів геологорозвідувальних робіт і переоцінювання запасів із використанням нових методів підрахунку.

4. Виокремлення груп важко видобувних запасів, залишкових запасів зниженої якості і таких ,що перебувають у складних гірничо-геологічних і економіко-географічних умовах з метою регулювання платежів за користування надрами, розподілу фінансових надходжень між бюджетами різних рівнів.

5. Регулювання надходжень до бюджету різних рівнів під час розробки родовищ, зокрема прикордонних.

6. Оцінювання зміни якості запасів у процесі розробки, розподілу товарних типів вуглеводнів з метою планування інфраструктури паливно-енергетичного комплексу (далі – ПЕК) і визначення впливу розробки вуглеводнів на навколишнє середовище, оскільки в них містяться шкідливі для здоров'я людини, тваринного та рослинного світу домішки.

Для вирішення завдань надровикористування у світовій практиці використовуються звичайні універсальні ГІС, а також розроблено низку спеціалізовані програмні комплекси. Із російських програмних продуктів найвідомішою є геологічна інформаційна система ПАРК. За кордоном широко використовуються EQulS , RockWorks EVS тощо.

8.13 ГІС і екологія

Екологія – це наука, що вивчає взаємовідношення тваринного і навколишнього середовища і, насамперед, їхні позитивні або негативні прояви. Одним з головних завдань екології є вивчення, запобігання й ліквідація наслідків забруднень навколишнього середовища, насамперед , людиною. Саме для вирішення цих завдань і застосовується, геоінформаційні технології, як засіб збирання, каталогізації та аналізу найрізноманітніших даних, а саме проби води, ґрунтів, повітря, шуму, дані дистанційного зондування землі з літака або з космосу, відомості про стан здоров'я людей, флори й фауни.

Геоінформаційні системи є дієвим інструментом для узагальнення отриманих даних і складання прогнозів. Розглянемо лише деякі особливості застосування ГІС в екології.

Моніторинг навколишнього середовища. За допомогою ГІС можна легко створювати різноманітні тематичні карти за результатами збору різних параметрів навколишнього середовища. Надалі, збираючи нові дані, такі карти можна використовувати для визначення масштабів і темпів змінювання флори й фауни.

Екологічний аналіз. ГІС дає змогу проаналізувати результати моніторингу навколишнього середовища, використовуючи різні методи просторового і геостатистичного аналізу в ГІС. Ці методи уможливають визначення нових непомітних закономірностей і залежностей, які неможливо встановити, аналізуючи звичайні табличні дані в ГІС. Одним із важливих результатів екологічного аналізу є комплексна характеристика території проживання людей, стосовно безпеки проживання .

Екологічне прогнозування. Регулярний збір даних про стан навколишнього середовища забезпечує визначення темпоральних змін і на їхній підставі уможливорює створення прогнозів щодо зміни ситуації в майбутньому.

За допомогою ГІС можна змоделювати виникнення різноманітних природних і техногенних аварій та катастроф, наприклад наслідки ураганів, виверження вулканів або розливів нафти, а також ступінь впливу постійно діючих забруднювачів.

Заповідники. Однією з найвикористовуваніших сфер застосування ГІС за кордоном є збір і керування даними стосовно охоронюваних територій (заповідників, заказників і національних парків). У межах цих територій за допомогою ГІС проводиться регулярний просторовий моніторинг стану рослинності, цінних і рідкісних різновидів тварин, визначається рівень вплив антропогенних втручань – туризму, доріг, ліній електропередачі, плануються і проводяться природоохоронні заходи.

8.14 ГІС і оборона

Будь-яка розвинена країна приділяє величезну увагу рівню готовності своїх збройних сил, здатності убезпечитися від будь-яких потенційних загроз. Саме тому величезна частка державного фінансування у сфері науково-технічних розробок надається військовим відомствам. Не є винятком і різноманітні ГІС-технології, розроблення яких активно фінансується з військового бюджету. У цій сфері безумовним світовим лідером є США, де, власне, і було винайдено багато елементів сучасних ГІС-технологій.

З усього спектра таких технологій, безпосередньо пов'язаних із ГІС і виниклих внаслідок військових потреб, можна відокремити супутникову навігацію (американську GPS) і космічну зйомку. Системи супутникової

навігації спочатку створювалися тільки для військових цілей (насамперед, для наведення ракет). Космічна ж зйомка мала подвійне призначення: картографування місцевості і високодетальна розвідувальна зйомка окремих об'єктів.

На сьогодні супутникова навігація стала широко доступною для цивільних цілей. Нещодавно цивільні приймачі GPS визначали координати з набагато меншою точністю, ніж їхні військові аналоги, проте тепер таке обмеження ліквідовано міністерством. Аналогічною є ситуація і з космозйомкою. Спочатку супутники працювали винятково для потреб оборонних відомств, проте сьогодні можна досить легко придбати знімки фактично будь-якої частини світу, і з дуже високою роздільною здатністю.

Користувачі відповідно до чинного законодавства, можуть отримувати високодетальні знімки з роздільною здатністю не менше 2 м на піксель. Проведення таких покупок проводиться через спецвідділи, які повинні бути в кожній організації. Така процедура не узгоджується пропозицією на світовому ринку знімків із роздільною здатністю до 60 см на піксель (з американського супутника QuickBird). До того ж зарубіжні компанії зазвичай не вимагають ліцензій на роботу з секретними матеріалами, а знімки можна отримати безпосередньо через Інтернет або поштою.

Поточний стан інших елементів ГІС-інфраструктури військових відомств різних країн світу визначити складніше, але можливо, оскільки багато провідних світових виробників ГІС-технологій пропонують програмні продукти, призначені для автоматизації різних аспектів управління і тилового забезпечення збройних сил. Наприклад, компанія ESRI випускає додатковий модуль ArcGIS Military Analyst, який у поєднанні з іншими модулями (ArcGIS Network Analyst, ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcGIS Tracking Analyst, ArcLogistics Route і ін.) перетворює ArcGIS на потужну ГІС для вирішення таких завдань:

- загальне керування військами;
- картографування поля бою;
- управління інженерними комунікаціями військових баз;
- управління евакуацією поранених;
- логістика (доставка боєприпасів, продовольчих товарів та ін.);
- розмінування мінних полів;
- планування військових операцій;
- проведення миротворчих операцій;
- управління інженерними спорудами;
- моделювання (симуляція) бойових операцій;

- розвідка та рекогносцировка;
- аналіз рельєфу місцевості;
- візуалізація.

8.15 ГІС і освіта

Навчальні заклади – це заклади, що надають послуги населенню у вигляді переданих учням знань і навичок. Навчальні заклади функціонують на ринку освітніх послуг, конкуруючи за абітурієнтів з іншими навчальними закладами.

На сьогодні у світі роль геоінформаційних систем у сфері освіти зростає, зокрема :

1. У сфері загальної освіти ГІС використовуються для проведення **демографічного аналізу в різних районах суб'єктів федерації і міст** з метою оптимального (зокрема з урахуванням довгострокової перспективи) вибору місць розташування нових загальноосвітніх, початкових, спеціалізованих, музичних, художніх, спортивних, технічних та інших шкіл і навчальних закладів. Це завдання вирішується з використанням методів просторового та мережевого аналізу геоінформаційних систем.

2. ГІС можуть застосовуватися для **аналізу якості надання освітніх послуг** в різних районах країни, суб'єктах федерації, містах. Такий аналіз повинен регулярно проводитися органами державної влади з метою моніторингу поточної якості навчання і забезпечення гарантованої Конституцією доступності освіти для населення. З іншого боку, цей аналіз можуть проводити і окремі навчальні заклади з метою пошуку нових ринків і прийняття рішень про відкриття нових філій.

3. У сфері вищої освіти ГІС можуть застосовуватися для **аналізу розподілу потенційних абітурієнтів із різних районів суб'єкта федерації** з метою вибору місць для розташування кабінетів дистанційної освіти або філій вищих навчальних закладів. Як головний критерій для вибору місць для таких кабінетів зазвичай обирають кількість потенційних абітурієнтів, які проживають в межах оптимальної часової доступності від кабінету, наприклад, 10 км .

4. У сфері підготовки кадрів вищої кваліфікації (кандидатів і докторів наук) ГІС можуть використовуватися Вищою атестаційною комісією для **оптимального вибору опорної мережі спеціалізованих учених рад** (в даний час їх діє близько 2500), рівномірно розподіленими по всій країні в розумній доступності від провідних науково-освітніх центрів країни.

9 ЗАСТОСУВАННЯ ГІС У ДОРОЖНЬОМУ ГОСПОДАРСТВІ

9.1 Інформаційні технології в дорожньому господарстві

Застосування ГІС в дорожньому господарстві відрізняється великою різноманітністю, оскільки автомобільні дороги є географічно розподіленими об'єктами.

ГІС-технології, що в широкому розумінні є сукупністю багатьох пов'язаних між собою інформаційних компонентів, здатні забезпечити ефективне управління технічним і транспортно-експлуатаційним станом мереж доріг на муніципальному, територіальному й федеральному рівнях у процесі всього їхнього життєвого циклу: від дослідження і проектування до будівництва й визначення змісту в процесі експлуатації. Такий комплексний підхід за сучасними термінами інформаційних технологій називають PLM (Product Lifecycle Management). На сьогодні PLM-рішення досить добре розроблені для галузей мікроелектроніки, машинобудування, авіабудування. Дорожня галузь у цьому сенсі істотно відрізняється за своєю специфікою від зазначених вище галузей, а тому переносити готові рішення не видається неможливим. Проте можна зауважити, що на сучасному ринку програмного забезпечення представлені майже всі головні елементи комплексних PLM-рішень дорожньої галузі.

У попередніх розділах досить докладно було описано ГІС-технології, що розвиваються досить швидко уже майже півстоліття. Однак незрозуміло таке: якщо можливості ГІС настільки вражаючі, то чому вони на сьогодні недостатньо затребувані і не розвинуті повною мірою в дорожній галузі? Назвемо лише декілька причин, у зв'язку з якими ГІС-технології ще не стали звичним інструментом у діяльності інженерів-шляховиків.

1. Інформаційну базу ГІС становить атрибутивна й просторова інформація. Остання (в усталеному розумінні) становить картографічні матеріали. Оскільки низка масштабів карт має обмеження щодо використання (гриф секретності), то в ГІС відсутня ця інформація. До того ж на сьогодні не вироблено єдиних стандартів на представлення цифрової картографії в ГІС. Реалізація цього проекту може істотно пришвидшити запровадження ГІС у всіх сферах життєдіяльності нашої країни. Але наявність цієї концепції не виключає необхідності розроблення аналогічних стандартів обміну просторовими даними на галузевому рівні. Розроблення такого стандарту в дорожній галузі істотно активізує застосування САПР і ГІС в інженерній діяльності та сприяє обміну даними між цими системами. Потрібно зауважити, що в деяких сферах діяльності (наприклад нафто-, газо- транспортування) такі стандарти вже

створені й стали стимулюючим фактором упровадження ГІС для проектування, планування та управління відповідними процесами.

2. ГІС можуть застосовуватися для **аналізу якості надання освітніх послуг** в різних районах країни, суб'єктах федерації, містах. Такий аналіз повинен регулярно проводитися органами державної влади з метою моніторингу поточної якості навчання. З іншого боку, цей аналіз можуть проводити і окремі навчальні заклади з метою пошуку нових ринків і прийняття рішень про відкриття нових філій.

3. Специфіка автомобільних доріг як лінійно-протяжних об'єктів обумовила їхнє відображення в графічному вигляді. Зазвичай це лінійні графіки доріг, які не повністю відповідають реальним контурам. Це і є причиною спотворення інформації про дороги. Точне уявлення про геометричні параметри доріг дають великомасштабні плани в складі проектів доріг і кадастрові плани доріг. Однак ще не відпрацьована технологія збирання та накопичення цих матеріалів в єдиному графічному стандарті, що перешкоджає їхній передачі цих матеріалів у геоінформаційні системи.

4. У сфері вищої освіти дорожньої галузі упровадженню інформаційних технологій у навчальний процес, на жаль, стали приділяти належну увагу тільки в останні роки, увівши відповідні навчальні курси з автоматизованого проектування й геоінформаційних систем. А це означає, що ці технології ще тільки стають обов'язковим елементом підготовки інженерних кадрів цієї галузі.

5. Перехід на нові технології проектування, планування та управління завжди для будь-якої галузі, оскільки стосується як загальної організації робіт та взаємодії, так і долі багатьох людей, а тому потрібно прикласти певні зусилля, щоб розпочати процес переходу.

І все ж постійно збільшуваний потік інформації, ускладнення структури галузі, зародження ринкових механізмів, що сприяють розширенню міжнародних зв'язків і кооперації, повинні привести до активного впровадження геоінформаційних технологій як одного з факторів науково-технічного прогресу в дорожній галузі.

9.2 Програми розвитку й обґрунтування інвестицій

Перехід економіки до ринкових відносин призвів до прискореного зростання рівня автомобілізації населення. Якщо в 1985 р. рівень автомобілізації населення становив лише 45 авт. / 1000чол. і за прогнозами планової економіки повинен був зрости до 2005 р. до 140 авт. / 1000 ос., то фактичний рівень автомобілізації населення на сьогодні – це вже

приблизно 250 авт. / 1000 ос. і він продовжує стрімко зростати (приблизно на 8 % за рік), наближаючись до середньоєвропейського рівня, який становить приблизно 400 авт. / 1000 ос. У цих умовах неминуче постає проблема істотного збільшення протяжності доріг, так і якісного підвищення їхнього споживчого рівня.

У найближчі роки розвиток мережі автомобільних доріг відбуватиметься за сценарієм, на якому базується «Національна програма модернізації та розвитку автомобільних доріг до 2025 року». Розробленню Національної програми передували аналогічне розроблення програм на всій території, потім вони були укрупнені й узагальнені на рівні федеральних округів. Таким чином, був дотриманий принцип від часткового до загального.

Якщо концепції і програми розвитку доріг визначають як передпроектні стадії, то першою стадією проектування доріг вважається обґрунтування інвестицій (далі – ОІ). На цій стадії проводиться збір і обґрунтування майбутніх транспортних навантажень на дорогу (за розрахунковою інтенсивністю), на підставі яких визначається категорія проектованої дороги, можливі варіанти прокладання трас проектованої дороги, їх вартість та економічна ефективність реалізації. На основі цих даних приймається рішення про необхідність і доцільність подальшого будівництва (реконструкції) одного з варіантів дороги або мережі доріг. Якщо оцінювати такий підхід до початкової стадії проектування і майбутнього будівництва доріг з погляду його відповідності світовій практиці, міжнародним нормам і правилам, то потрібно визнати, що він істотно відрізняється. У багатьох країнах світу, і насамперед в Європі, категорію проектованої дороги призначають на підставі її майбутньої ролі та виконуваних функцій у загальній мережі доріг.

Підхід, прийнятий світовим співтовариством, доцільніший, а надто те, що прогнозування розрахункової інтенсивності руху за умов відсутності чітких прогнозів економічного розвитку країни і її окремих регіонів, а також недостатньо досконалих математичних моделей, прогнозування транспортних потоків призводить до того, що кінцевий результат не є достовірним і обґрунтованим.

Що стосується варіантного проектування трас автомобільних доріг на стадії обґрунтування інвестицій, то його найдоцільніше виконувати в ГІС на підставі карт різних масштабів і даних дистанційного зондування. Це, до речі, відрізняє варіантне проектування від стадії інженерного проекту й робочої документації, коли таке проектування здійснюється за допомогою САПР автомобільних доріг.

9.3 Проектування й реалізація проектів доріг

У наш час проекти автомобільних доріг у багатьох дорожніх проектних організаціях дорожньої галузі розробляються на досить високому рівні автоматизації за допомогою САПР автомобільних доріг (див. п. 8.2).

У процесі всього життєвого циклу проектування інженер-проектувальник працює з інформаційною моделлю майбутньої автомобільної дороги, яка на останньому етапі робіт (оформлення проектної документації) зазвичай подається у вигляді сукупності інженерних креслень і описів. Було б логічним, щоб інформаційна модель спроектованої дороги передавалася замовнику (далі підряднику) і контролюючим органам (технічний нагляд) одночасно з проектною документацією. Це забезпечило б ефективніше виконання будівельних робіт і контроль якості виконуваних робіт.

Професійне дорожнє співтовариство усвідомлює, що така послідовність дій доцільна й ефективна, але цього не відбувається у зв'язку з багатьма причинами, зокрема внаслідок:

- відсутності випробовуваних систем інформаційного обміну всіх учасників дорожнього інвестиційного процесу, що беруть участь у розробленні проекту та його реалізації;
- нерозвиненості комплексного програмного забезпечення, що дозволяє забезпечує повний цикл інженерних робіт – від пошуків і проектування до будівництва (реконструкції) доріг і його контролю;
- невідповідності інженерних кадрів до реалізації таких комплексних проектів.

Однак усі усвідомлюють, що цей процес повинен формуватися, а отже, доцільним гіпотетично описати послідовність його дій.

Етап 1. До складу проектної документації включається інформаційна модель спроектованої дороги з узгодженням сторін (або на галузевому рівні) стандартних даних. Це дозволяє замовнику не тільки аналізувати отриману проектну документацію, але й деталізувати її фрагменти, забезпечувати необхідне тиражування документації. Застосовуючи засоби САПР автомобільних доріг, замовник одночасно може передавати інформаційну модель в ГІС. Це забезпечить не тільки надійне зберігання інформаційної моделі, а й уможливить накопичення додаткової інформації про сам проект та процедуру проходження його в різних інстанціях (у адміністративних і кадастрових органах тощо).

Етап 2. Під час проектної документації від замовника до підрядника може також забезпечуватися передача інформаційної моделі дороги із супутньою документацією. Підрядник готує проекти організації будівництва і

виконання робіт на підставі проекту дороги. У разі виникнення пропозицій щодо зміни проектних рішень підрядник може звертатися до замовника і проектувальника в межах процесу коригування загальної інформаційної моделі дороги.

Етап 3. На етапі реалізації проекту як підрядником, так і організацією, що здійснює технічний нагляд, може виконуватися виконавче знімання, результати якого передаються до інформаційної моделі спроектованої дороги з метою встановлення відповідності виконаних робіт проектним даним. При цьому кількість оціночних даних буде значно більшою, а їх достовірність набагато вищою, порівняно з традиційною взаємодією учасників інвестиційного процесу.

Етап 4. На стадії завершення проекту вся зібрана і узагальнена інформація у вигляді створеної єдиної моделі дороги і подій, пов'язаних з нею, передається експлуатуючій організації у вигляді ГІС-проекту функціонування введеного в дію об'єкта.

9.4 Транспортні потоки й організація руху

Необхідність аналізу та прогнозування транспортних потоків виникає на стані оцінювання інвестицій (для оцінювання різних варіантів будівництва), на стані проектування доріг (за оцінкою проектних рішень і під час розрахування ефективності інвестицій), а також під час експлуатації доріг (при вдосконаленні організації та наданні безпеки руху). У контексті загальної методології проектування і функціонування транспортної інфраструктури завдання моделювання транспортних потоків можна розглядати як ГІС-завдання.

Усі способи моделювання транспортних потоків можна розділити на дві групи – *макромодельовання й мікромодельовання*.

За першого способу – макромодельовання – на підставі різних припущень про кореспонденції між транспортними районами обчислюється укрупнений транспортний потік (кількість автомобілів різного виду, що рухаються) із одного району міста в інший. Потім обчислюються найімовірніші маршрути руху для цього потоку за вулично-дорожньою мережею. Підсумувавши всі транспортні потоки мережі, визначають навантаження на окремі фрагменти вулиць і доріг. Результати таких розрахунків зазвичай подають у вигляді картограм транспортних потоків (див. п. 6.4).

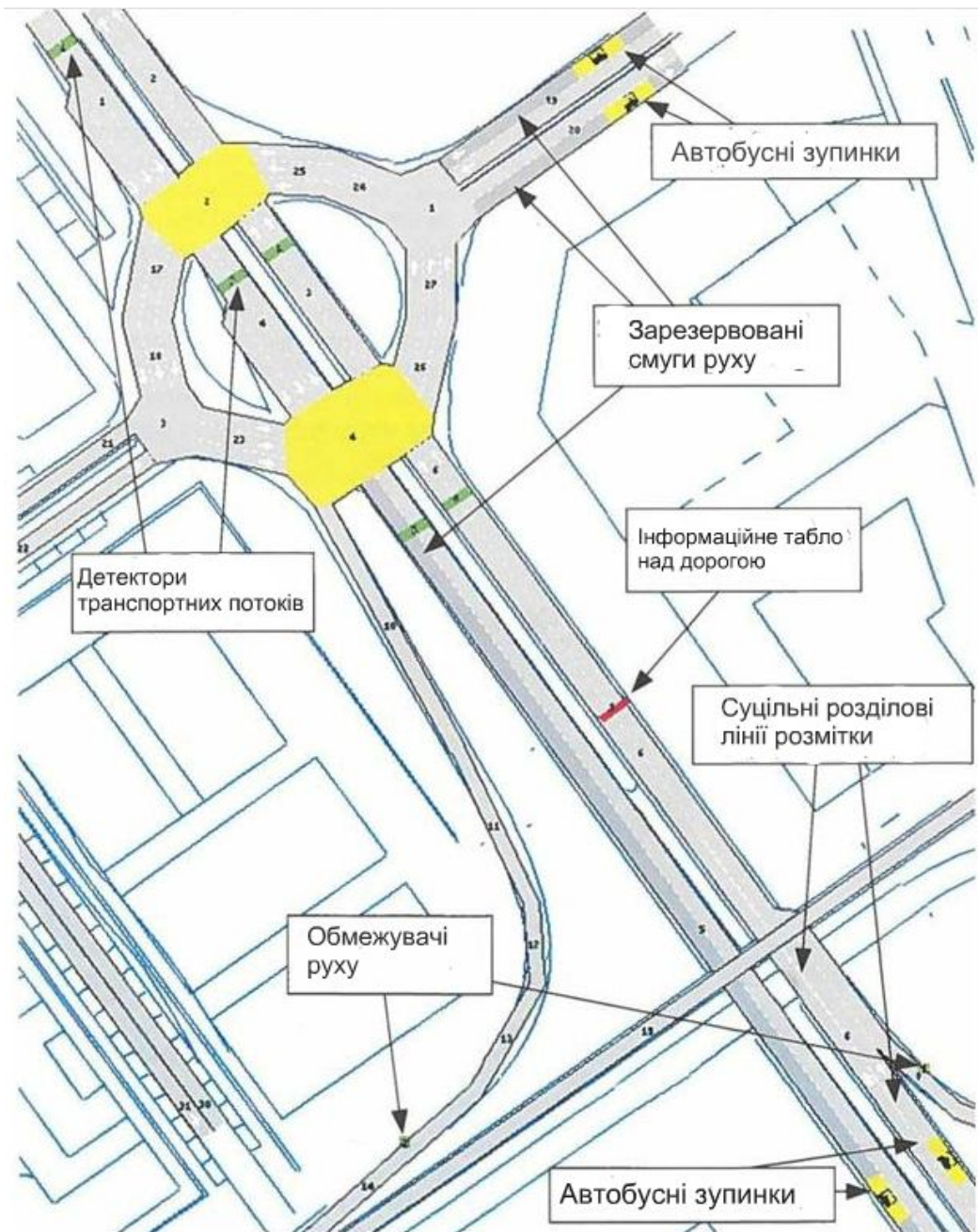


Рисунок 9.1 – Модель автомобільної дороги для мікромоделювання транспортних потоків, підготовлена в програмі TEDI системи GETRAM

Перевагою макромоделювання є можливість розрахувати транспортні потоки для великих транспортних мереж, що необхідно для аналізу транспортних мереж міст і регіонів і розроблення концепцій їхнього розвитку. Недоліком є неможливість точного обліку конфігурацій транспортних розв'язок, обліку наявності коштів для організації руху (світлофорів), а також індивідуальних особливостей керування автомобілем водіями.

За другого способу – мікромоделювання – моделюються окремі автомобілі або їхні невеликі групи (пакети). При цьому для кожного автомобіля

прораховується точна траєкторія його руху (у просторі й часі) з урахуванням коштів для організації руху, напрямків руху по смугах, можливостей перешиковування між смугами, наявності аварійних ситуацій і заторів. Для такого детального моделювання потрібно ввести інформацію про структуру автомобільної дороги (кількість смуг, дорожня розмітка, дорожні знаки, обмеження щодо швидкості руху, схеми розв'язок), про склад і інтенсивність автомобільних потоків (рис. 9.1).

Метод мікромодельювання транспортних потоків уможливорює окремо прорахування руху різних видів об'єктів, що переміщуються: легкових автомобілів, вантажівок, трамваїв, автобусів, тролейбусів, мотоциклів, велосипедів і пішоходів. Саме ця комплексність підходу особливо важлива під час створення схем організації руху.

Результати мікромодельювання можуть бути надані у вигляді табличних статистичних звітів, графіків із необхідним перетином доріг або по окремих смугах руху (на рис. 9.2 на графіку показано інтенсивність руху на трьох перетинах доріг), а також у вигляді різних схем на картографічній основі (рис. 9.2).

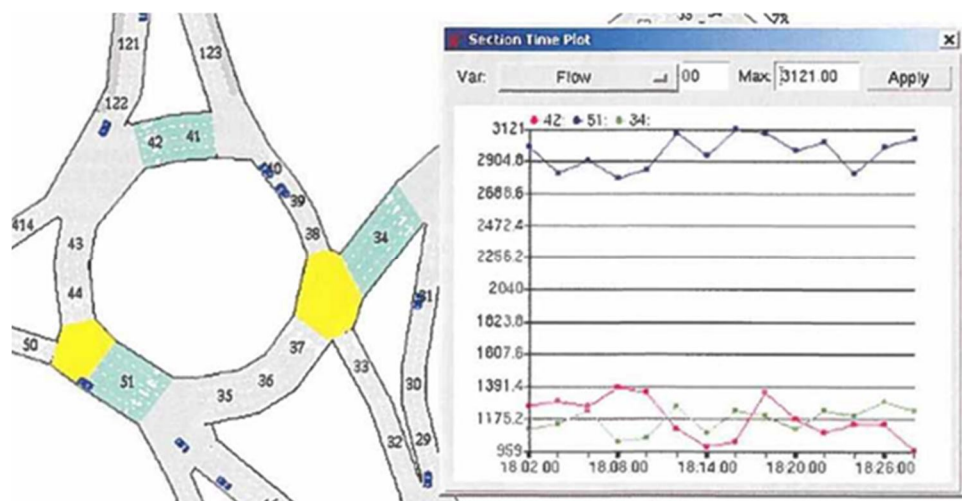


Рисунок 9.2 – Графік інтенсивності транспортних потоків у різних перетинах дороги, розрахованих за допомогою програми AIMSUN системи GETRAM методом мікромодельювання

У зв'язку з тим, що в методі мікромодельювання точно розраховуються траєкторії руху окремих автомобілів, з'являється можливість динамічної анімації руху автомобілів на карті або в тривимірному вигляді. Цей спосіб дуже популярний при візуальному оцінюванні проектних рішень, при створенні схем організації руху, а також при захисті розроблених проектів у замовника. Саме

тому більшість систем мікромодельовання транспортних потоків пропонують спеціальні вбудовані інструменти для тривимірної візуалізації.

Ці системи дають змогу переглядати в динаміці тривимірні сцени з будь-якої фіксованої точки, з позиції водія в автомобілі або з позиції камери, що рухається по довільній траєкторії в просторі (рис. 9.3).

Для додаткового візуального оформлення сцен в цих системах є засоби для розміщення на карті різних будівель, елементів ландшафту й інженерного облаштування доріг. Такі елементи дороги ,як розмітка, поточні фази світлофорів, дорожні знаки та інформаційні табло, створюються автоматично.

Крім цього деякі системи мікромодельовання забезпечені коштами експорту згенерованих тривимірних моделей і сцен в стандартні формати (наприклад, у формат 3DS) для подальшого доопрацювання сцен і високоякісної візуалізації в спеціалізованих системах тривимірного моделювання (наприклад у систему 3D Studio MAX).

На сьогодні розроблено багато програмних продуктів, які уможливають виконання макро- й мікромодельовання транспортних потоків. Розглянемо деякі з них.

Система PTV Vision (виробництва компанії PTV AG, Німеччина) є одним із най комплексніших світових програмних продуктів для моделювання і планування транспортних потоків. До її складу входить модуль VISUM, призначений для макромодельовання транспортних потоків і стратегічного планування транспортних схем міст і регіонів. Модуль VISSIM уможливорює виконання моделювання на мікрорівні (рис. 9.3). Крім того, система PTV Vision містить модуль INTERPLAN для оперативного планування (диспетчеризації) руху вантажного й громадського транспорту.



Рисунок 9.3 – Тривимірна візуалізація транспортних потоків у системі Paramics

Програмний комплекс **GETRAM** (виробництва компанії TSS-Transport Simulation Systems, Іспанія) призначений тільки для мікромодельювання транспортних потоків. Він складається з трьох незалежних програм. Програма **TEDI** призначена для створення моделі транспортної мережі (див. рис. 9.4). Програма **AIMSUN** виконує власне мікромодельювання транспортних потоків (див. рис. 9.5). Програма **AIMSUN 3D** призначена для тривимірної візуалізації результатів моделювання, отриманих раніше в програмі **AIMSUN**. Зазначимо також, що транспортна мережа сформована в програмному комплексі **GETRAM** і результати моделювання транспортних потоків можуть бути експортовані в ГІС через формат шейп-файлів **ESRI**.

Система **Quadstone Paramics** (виробництва компанії Paramics Information Quadstone Ltd., Великобританія) призначена тільки для мікромодельювання транспортних потоків. Її перевагою є висока якість тривимірного подання результатів моделювання, а також більш зручний з двома попередніми системами моделювання для користувача інтерфейс .

На сьогодні вітчизняними вченими розроблено багато математичних моделей транспортних потоків, однак, на жаль, більшість із них не стали програмними продуктами.

Із усіх вітчизняних програмних продуктів для моделювання транспортних потоків можна відокремити систему **IndorThiffic**, що забезпечила функціями як макро-, так і мікромодельювання. Ця система складається з двох модулів.

Модуль **IndorGISTVaffic** для геоінформаційної системи IndorGIS призначений для макромоделювання. Його особливості були описані вище (п. 6.4 і 9.9).



Рисунок 9.4 – Тривимірна візуалізація транспортних потоків у системі PTV Vision за допомогою модуля VISSIM

Модуль **IndorCADTraffic** для системи автоматизованого проектування автомобільних доріг **IndorCAD/Road** забезпечує виконання мікромодельовання. Особливо потрібно відзначити той факт, що тільки цей модуль вбудовується в повноцінну систему проектування автомобільних доріг. Така тісна інтеграція дає змогу інженерам-проектувальникам під час створення проектів доріг викликати тільки одну команду й моделювати транспортні потоки, однозначно візуально оцінюючи проектне рішення і отримуючи статистичні дані про склад та інтенсивність транспортного потоку на розглядуваній ділянці дороги (рис. 9.5).

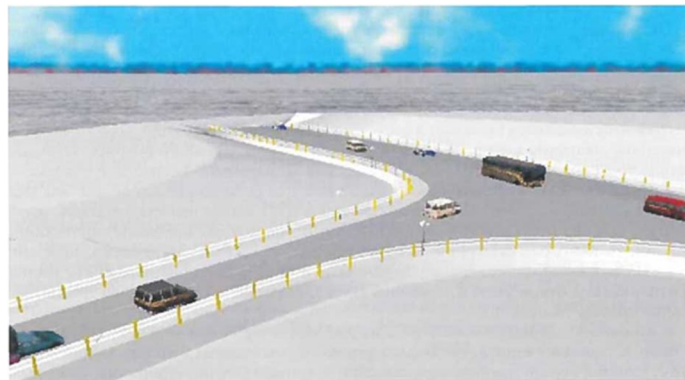


Рисунок 9.5 – Тривимірна візуалізація транспортних потоків у системі **IndorCAD / Road**

9.5 Паспортизація, інвентаризація та кадастр

Завдання земельного кадастру були розглянуті вище, у п. 11.6. Автомобільні дороги, що займають певну ділянку землі, також до сфери державного земельного кадастру.

Кадастр автомобільних доріг покликаний вирішити такі завдання:

- реєстрація прав на нерухоме майно;
- фіксування меж дії прав власників автомобільних доріг, а в разі необхідності їхнього відновлення;
- визначення правового режиму земель з урахуванням з суспільних обмежень;
- забезпечення унікальної ідентифікації автомобільних доріг для зв'язку з Єдиним реєстром прав на нерухоме майно;
- забезпечення вихідною інформацією під час проведення всіх різновидів землеустрою;
- здійснення моніторингу змінювання якісних і кількісних характеристик земель.

На початковому етапі створення кадастрових планів автомобільних і міських доріг здійснюється камеральний збір вихідних даних про автомобільні дороги. До таких даних належать: найменування автомобільних доріг, їхнє розташування й протяжність, відомості про відвід земель, відомості про суміжних землекористувачів, економічні характеристики доріг і штучні споруди на них.

Наступний етап – польові роботи. Спочатку необхідно встановити справжню вісь автомобільної дороги. Це робиться або за допомогою пересувної лабораторії, обладнаної системою супутникової навігації (GPS), або шляхом експорту даних тахеометричної зйомки пошукової групи.

Потім проводиться зйомка елементів і обстановки автомобільної дороги. За допомогою спеціального обладнання фіксується пікетажне положення обстановки дороги (дорожніх знаків, стовпів ЛЕП, початок і кінець угідь, дорожніх труб, мостів, укріплених кюветів тощо). Далі проводиться додаткова зйомка геометричних елементів автомобільної дороги (поперечні розміри земляного полотна, геометричні розміри прилеглих об'єктів, відстані до дорожніх знаків і кутових стовпів ЛЕП тощо.) за допомогою рулетки або лазерного далекоміра.

Після цього уточнюються суміжні з автомобільною дорогою землекористування, інформацію про які отримують у районних земельних комітетах надалі цю інформацію узгоджують із кожним суміжним землекористувачем.

Після проведення польових робіт настає камеральний етап оброблення зібраних даних. Спочатку наповнюють електронний паспорт автомобільної дороги, який становить собою набір таблиць бази даних.

У базі даних всі таблиці можна розподілити на чотири групи: елементи автомобільної дороги, характеристики, обставини і штучні споруди.

Елементи автодороги включають дорожні знаки, обгородження, дорожню розмітку, прилеглі об'єкти, дорожній одяг, укріплені кювети, ґрунт земляного полотна, укріплені узбіччя, під'їзди до автомобільної дороги, тротуари, перехідно-швидкісні смуги.

Характеристиками автомобільної дороги є розміри смуги відведення, різновид угідь, дефекти покриття, базові відстані, статистика ДТП, інтенсивність руху, рівномірність покриття, ширина верху земляного полотна, типи поперечних профілів, протяжність покриттів, технічні категорії, які обслуговують дорожні організації, проблемні ділянки (затоплювані, вічні тощо.), неприпустимі радіуси, стан покриття, неприпустимі ухили, вершини кутів поворотів, координати осі траси, мітки, опис підошов споруд.

До *обставин автомобільної дороги* належать опис комунікацій, снігозахисних споруд, майданчиків відпочинку, автобусних зупинок, населених пунктів, будівель дорожньої служби, пунктів першої медичної допомоги, озеленення, пунктів харчування, автовокзалів, громадських туалетів, пунктів ДІБДД, мийних пунктів, готелів, автозаправок, станцій технічного обслуговування автомобілів.

До *штучних споруд* належать труби, мости, підпірні стінки, тунелі, поромні переправи.

Усі дані польових журналів заносяться до відповідних розділів електронного паспорта з прив'язкою кожного елемента до пікетажних положень на осі дороги.

Формування кадастрового плану виконується на підставі даних електронного паспорта. Використовуючи координати осі траси, на карті (плані) будують верх земляного полотна, постійну смугу відведення під автомобільну дорогу в реальній геометрії, на яких потім розміщуються елементи облаштування автомобільної дороги.

Система IndorGIS/Road дає змогу автоматично згенерувати кадастровий план автомобільної дороги на підставі введених табличних даних. Результат може бути одразу розміщений на карті геоінформаційної системи IndorGIS або переданий в систему підготовки креслень IndorDraw. Зазначимо, що в разі автоматичного генерування кадастрового плану в ГІС IndorGIS встановлюється зв'язок між графічним зображенням і вихідними об'єктами автомобільної дороги. Це у подальшому, виділивши на карті об'єкт, можна відредагувати його параметри, що зберігаються в загальній базі даних.

Під час передачі ж кадастрового плану в IndorDraw, зв'язок із атрибутикою не зберігається, оскільки головною метою цієї операції є тільки високоякісна підготовка креслень.

Сформовані кадастрові плани земельних ділянок, зайнятих автомобільними дорогами, є, насамперед, базою для підготовки межової справи і постановки на кадастровий облік в органах державного обліку.

Оскільки автомобільні й міські дороги є лінійно-протяжними об'єктами, у деяких випадках зручніше працювати не з традиційними картами й планами доріг, а з їх розгорнутим уздовж осі дороги поданням у вигляді лінійних графіків і розгорнутих планів. У геоінформаційній системі IndorGIS/Road також передбачено можливість формувати такий лінійного графік автомобільної дороги.

Зазначимо, що під час формування лінійних графіків можна задавати різні масштаби в повздовжньому й поперечному напрямках. Це дає змогу зменшити кількість сформованих креслень, не втрачаючи в наочності їх подання,

особливо для заміських доріг із малою кількістю прилеглих об'єктів і інженерних споруд у придорожній смузі. На рисунку 9.6 подано різні варіанти кадастрового плану автомобільної дороги: у реальному масштабі, в лінеаризованому вигляді, а також зі зміненим масштабом у повздожньому напрямку.

Отже у процесі експлуатації автомобільних доріг необхідно виконувати два незалежних один від одного різновиди інженерних робіт – *паспортизацію* й *інвентаризацію*. Ці різновиди робіт майже не відрізняються – вони різняться тільки частотою виконання і формою звітної документації: у разі паспортизації – це таблиці та лінійні графіки, у разі інвентаризації – це тільки таблиці.

Такий підхід був сформований і прийнятий десять років тому(сьогодні паспортизація автомобільних доріг здійснюється відповідно до вимог нормативного документа ВСН 1-83 «Типова інструкція з технічного обліку й паспортизації автомобільних доріг загального користування»). Саме тому він не враховує можливостей сучасних інформаційних технологій щодо формуванню паспортів автодоріг.

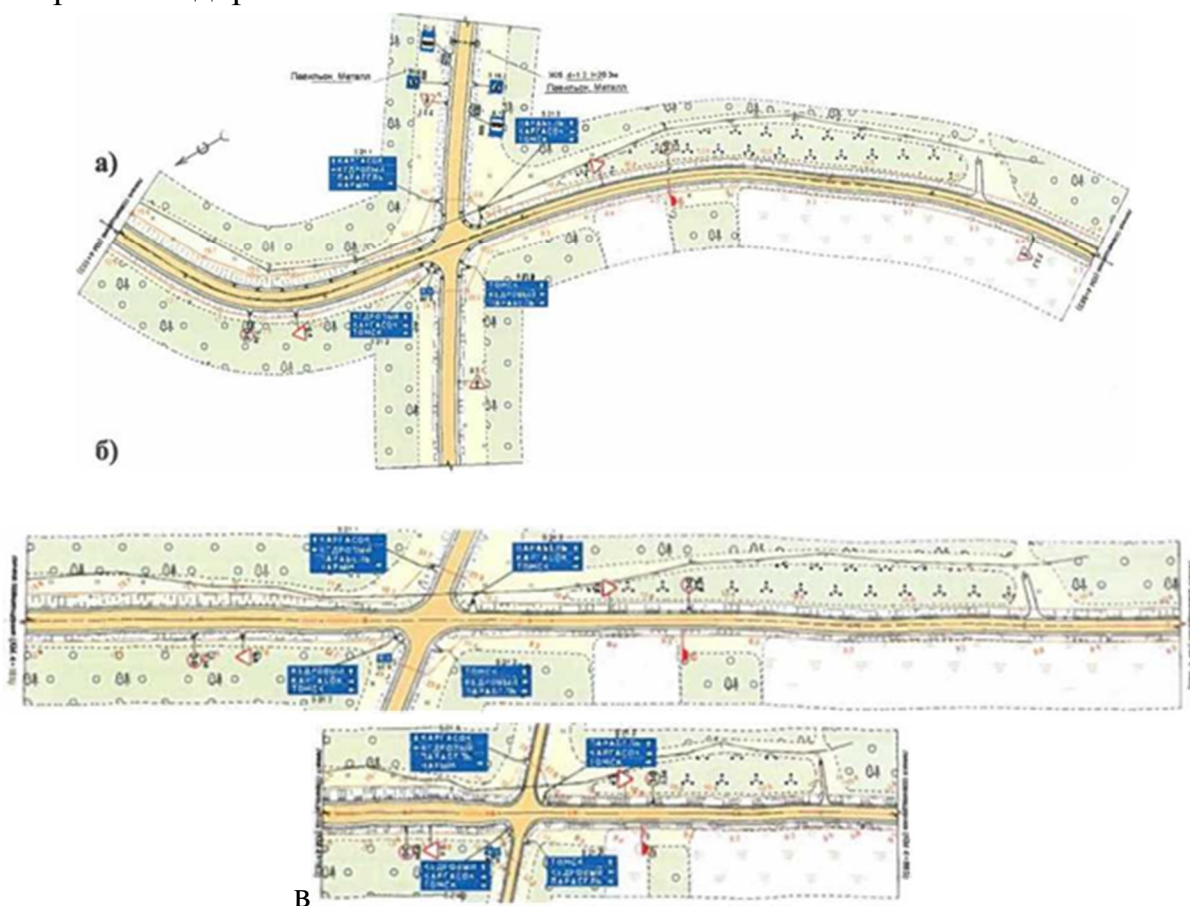


Рисунок 9.6 – Різні варіанти подання кадастрового плану автомобільної дороги в IndorDraw: а – у реальному масштабі; б – у лінеаризованому вигляді; в – зі зміненим масштабом у повздожньому напрямку

У сучасних умовах одночасне використання двох незалежних різновидів інженерних робіт (паспортизації та інвентаризації) видається недоцільним. В умовах повсюдного запровадження інформаційних технологій, ГІС і САПР, є сенс застосовувати єдину технологію, що забезпечить комплексний збір і аналіз інформації про автомобільні дороги на всіх етапах їхнього життєвого циклу. У цьому контексті паспорт та інвентаризаційні відомості – це, на нашу думку, дві різні форми подання інформації про дороги.

9.6 Експлуатація автомобільних доріг

Діагностика автомобільних доріг виконується з метою визначення їх транспортно-експлуатаційного стану й ступеня відповідності їх параметрів вимогам нормативних документів. Якщо під час паспортизації та інвентаризації головними параметрами збору інформації є постійні параметри (геометричні параметри, конструкції дорожнього одягу та земляного полотна тощо.), то під час діагностики доріг увага приділяється змінним параметрами (рівності, зчепленню, міцності, дефектам проїзної частини та іншим конструктивним елементам дороги).

За результатами діагностики визначаються ділянки доріг, які не відповідають нормативним показникам. На цих ділянках призначають комплекс заходів для поліпшення транспортно-експлуатаційних характеристик.

У наш час наявні матеріали щодо діагностики державних автомобільних доріг накопичуються, упорядковуються й аналізуються за допомогою автоматизованого банку дорожніх даних АБДД «Дорога» (див. п. 10.1). На територіальних дорогах використовується ширше коло програмних продуктів, зокрема Титул-2000, IndorGIS/Road та ін.

У АБДД «Дорога» вбудовано блок завдань, що уможлиблює проведення комплексного аналізу параметрів і характеристик, які визначають транспортно-експлуатаційний стан автомобільних доріг, необхідний для оцінювання і встановлення причин можливих порушень сталого функціонування дороги:

- пошук по будь-якій комбінації дорожніх характеристик;
- визначення ділянок доріг, які потребують облаштування (нестача або дефектність огорож, тротуарів, розмітки, освітлювальних пристроїв та ін.);
- аналіз інтенсивності руху;
- вибір ділянок доріг, які відповідають нормативам;
- статистика по дорожніх знаках;
- характеристика населених пунктів;
- розрахування залишкового терміну використання нежорсткого дорожнього одягу.

В даний час, з огляду на відсутність тісної інтеграції АБДД «Дорога» з ГІС і застарілою структурою даних інформаційної моделі автомобільних доріг, подальший розвиток цього програмного продукту не видається можливим . До того ж в умовах узгодження вітчизняних норм і стандартів із міжнародними та переходом до планування дорожніх робіт за методиками, що наближаються до міжнародних (наприклад ГШМ-4), необхідно мати топологічно коректну інформацію про мережу автомобільних доріг, яку можна отримати тільки за допомогою ГІС.

ВИСНОВКИ

Уже декілька десятиріч спостерігається інтенсивний розвиток інформаційних технологій. Протягом цього періоду відбувся гігантський стрибок розвитку і як технічних, так і програмних засобів, і можна з упевненістю стверджувати, що людство вступило в еру інформаційних технологій.

За деякими оцінками, кількість знань та інформації, що накопичується людством, кожні три роки зростає в два рази, а це змушує постійно шукати нові способи структуризації на якомусь інформації.

Оскільки більша частина інформації про світ має певну географічну прив'язку, одним з інструментів структурування й організації інформації є сучасні ГІС-технології. На сьогодні ці технології вже сформувалися, розроблено всі необхідні інструменти для вирішення найважливіших завдань. Найголовніше те, що в багатьох галузях економіки існує усвідомлення того, що ГІС-технології здатні забезпечити найвищий рівень інтеграції окремих інформаційних технологій і програмних продуктів, що уможлиблює вихід до на якісно нового розуміння й вирішення багатьох проблем.

Ставлення до ГІС-технологій як до одного з найважливіших елементів сучасної економіки, особливо протягом останніх років, забезпечило підтримку ГІС-галузі на державному та галузевому рівні.

У дорожньому господарстві інформаційним технологіям теж приділяється багато уваги.

У 2003 р. була створена робоча група щодо розроблення Технічного завдання на дослідження ГІС дорожньої галузі. У 2004 р. таке Технічне завдання було розроблено та схвалено Технічною радою галузі.

Список використаних джерел

1. Савін В. К. Об'ємно-планувальні рішення, екологія та енергетична ефективність будівель / В. К. Савін, І. В. Санкин, Н. В. Савіна // *Academia. Архітектура і будівництво*. – 2010. – № 3. – С. 363–366.
2. Харків [Електронний ресурс] / Google maps. Режим доступу до ресурсу: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1n_-kl4FnmQ8Rmc7Of137Q-W1zEg&hl=ru&ll=50.02591193575632%2C36.28578200000004&z=10
3. Техніко-економічні показники генерального плану [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://genplan.pro/tehniko-ekonomicheskie-pokazateli-generalnogo-plana/>.
4. Власов А. Д. Методичні рекомендації з визначення ринкової вартості земельних ділянок по кадастровим кварталах міста Новосибірська / А. Д. Власов. – Новосибірськ : СО РАН, 2007. – 125 с.
5. Містобудування. Населені пункти. Норми планування та забудови [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.beip.by/images/pdf/tk301116.pdf>.
6. Як розраховується щільність забудови [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу : <http://propertyexperts.ru/info/149-kak-schitaetsya-plotnost-zastroйки.html>.
7. Комплексний благоустрій дворових територій міський житловий забудови (на прикладі міста Москва) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. арх. наук : спец. 18.00.04 «Містобудування, планування сільських населених пунктів». – М. :, 2008.
8. Ярмош Т. С. Вплив щільності житловий забудови на якість міського середовища в центральній та периферійних зоні сучасного міста / Т. С. Ярмош, А. А. Снімцікова. // Белгородський державний технологічний університет ім. В. Г. Шухова.
9. Бобров Є. А. Соціально-екологічні проблеми великих міст та шляхи їх вирішення / Є. А. Бобров. // *Наукові відомості БелГУ. Серія: Природничі науки*. – 2011. – № 15. – С. 199–208. <http://gistechnik.ru/publik/git.html>
10. Корюгін Р. В. 3-d моделювання пам'яток архітектури місті Іркутську з використанням ГІС / Р. В. Корюгін. // *ІНТЕРЕКСПО ГЕО-СИБІР: Сибірський державний університет геосистем і технологій (Новосибірськ)*. – 2007. – №1. – С. 242–245.
11. Ларяков Ю.Ю. Майбутнє технічної інвентаризації в зв'язку з переходом до кадастрової діяльності // - ГУП МО «МОБТИ» – 2011:12-я Всерос. науково-практична конф. «Геоінформатика в нафтогазовій галузі». - [Б. м.], 2011.

12. Містобудування. Населені пункти. Норми планування та забудови: ТКП 45-3.01-116-2008 (02250). – Мінськ: М-во архітектури та буд-ва Респ. Білорусь, 2009. – 64 с.
13. Dolya, V. Pasazhyrski perevezennia [Text] / V. Dolya. – Kharkiv: Fort, 2011. – 503 p.
14. Mahjoub, Y. I. Modeling a bus network for passengers transportation management using colored Petri nets and (max, +) algebra [Text] / Y. I. Mahjoub, E. H. C. El-Alaoui, A. Nait-Sidi-Moh // Procedia Computer Science. – 2017. – Vol. 109. – P. 576–583. doi:10.1016/j.procs.2017.05.344
15. Dolya, C. Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system [Text] / C. Dolya, A. Botsman, V. Kozhyna // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 4, No. 2 (36). – P. 24–28. doi:10.15587/2312-8372.2017.108889
16. Dolya, C. Modeling of passenger transport correspondence between regional centers in Ukraine [Text] / C. Dolya // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 1, No. 2 (33). – P. 44–48. doi:10.15587/2312-8372.2017.93458
17. Dolya, C. Modeling of intercity passenger transportation system [Text] / C. Dolya // Technology audit and production reserves. – 2017. – Vol. 2, No. 2 (34). – P. 37–43. doi:10.15587/2312-8372.2017.100465
18. Nekrasova, O. I. Formirovanie tarifov transportnyh predpriatii na rynke gruzovyh zheleznodorozhnyh perezovok [Text] / O. I. Nekrasova. – Vladivostok: Admiral Nevelskoy Maritime State University, 2011. – 174 p.
19. Mihaltsev, E. V. Sebestoimost' zhelznodorozhnyh perezovok [Text] / E. V. Mihaltsev. – Gosudarstvennoe transportnoe zheleznodorozhnoe izdatel'stvo, 1957. – 415 p.
20. Semina, I. A. The nature and characteristics of the concept of «transport infrastructure» [Text] / I. A. Semina, L. N. Folomejkina, D. F. Salkaeva // Sworld Collected Works. – 2012. – Vol. 35, No. 3. – P. 41–45.
21. Skvortsov, A. V. Geographical information system in road industry: Reference encyclopedia of roadman. Vol. VI [Text] / A. V. Skvortsov, P. I. Pospelov, V. N. Boykov, S. P. Krysin. – Informavtodor, 2006. – 372 p. doi:10.17273/book.2006.2
22. Gasnikov, A. V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov [Text] / A. V. Gasnikov, S. L. Klenov, E. A. Nurminskii, Ya. A. Holodov, N. B. Shamrai; ed. by A. V. Gasnikov. – Moscow: Moscow Physical Technical Institute, 2017. – 362 p.
23. Sarychev, D. S. Primenenie grafovyh modelei dlia analiza inzhenernyh setei [Text] / D. S. Sarychev, A. V. Skvortsov, S. G. Sliusarenko // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2002. – No. 275. – P. 70–74.
24. Sarychev, D. S. Sovremennye informatsionnye sistemy dlia inzhenernyh setei [Text] / D. S. Sarychev // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2003. – No. 280. – P. 358–361.

25. Purtov, A. M. Integratsiia tehnologii GIS i metoda reduksii grafov dlia analiza transportnyh setei [Text] / A. M. Purtov // Omskii nauchnyi vestnik. – 2011. – No. 1 (97). – P. 164–168.
26. Sarancha, M. A. Otsenka transportnoi obespechennosti territorii Udmurtskoi Respubliki s ispol'zovaniem GIS dlia tselei turistsko-rekreatsionnyh issledovaniy [Text] / M. A. Sarancha // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». – 2010. – No. 2. – P. 64–68.
27. Ilina, E. A. Otsenka vliianiia razvitiia transportnoi seti na ekonomicheskoe razvitie regiona [Text] / E. A. Ilina // Ars Administrandi. – 2013. – No. 2. – P. 91–97.
28. Golskaia, Yu. N. Otsenka vliianiia transportnoi infrastruktury na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regiona [Text]: PhD thesis / Yu. N. Golskaia. – Ekaterinburg, 2013. – 24 p.
29. Purtov, A. M. Integration of GIS technology and method of graph reduction analysis of transport networks [Text] / A. M. Purtov // Omskii nauchnyi vestnik. – 2011. – No. 1 (97). – P. 164–168.

References

1. Savin V. K. *Ob'yemno-planuvani rishennya, ekolo-giya ta energetychna efektyvnist' budivel' / V. K. Savin, I. V. Sanky'n, N. V. Savina. // Academia. Arhitektura i budivny'cztvo. – 2010. – #3. – S. 363–366.*
2. *Xarkiv [Elektronnyj resurs] / Google maps. Re-zhy'm dostupu do resursu: https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1n_-kl4FnmQ8Rmc7OfI37Q-WIzEg&hl=ru&ll=50.02591193575632%2C36.28578200000004&z=10*
3. *Texniko-ekonomichni pokazny'ky' general'nogo planu [Elektronnyj resurs] – Rezhy'm dostupu do resursu: <http://genplan.pro/tekno-ekonomicheskie-pokazateli-generalnogo-plana/>.*
4. *Vlasov A. D. Metodychni rekomendaciyi z vy'znachen-nya ry'nkovoyi vartosti zemel'ny'x dilyanok po kadastrovy'm kvartalax mista Novosy'birs'ka / A. D. Vlasov. – Novosy'-birs'k: SO RAN, 2007. – 125 s.*
5. *Mistobuduvannya. Naseleni punkty'. Normy' planu-vannya ta zabudovy' [Elektronnyj resurs]. – 2009. – Rezhy'm dostupu do resursu: <http://www.beip.by/images/pdf/tk301116.pdf>.*
6. *Yak rozraxovuyet'sya shhil'nist' zabudovy' [Elekt-ronnyj resurs] – Rezhy'm dostupu do resursu: <http://propertyexperts.ru/info/149-kak-schitaetsya-plotnost-zastroyki.html>.*
7. *Kompleksnyj blagoustrij dvorovy'x terytorij mis'ky'j zhy'tlovy'j zabudovy' (na pry'kladi mista Moskva) : avtoref. dy's. na zdobuttya nauk. stupenya kand. arx. nauk : specz. 18.00.04 "Mistobuduvannya, planuvannya sil's'ky'x naseleny'x punktiv" / – Moskva, 2008.*

8. Yarmosh T. S. *Vplyv shhil'nosti zhytlovyj zabudo-vy' na yakist' mis'kogo seredovy'sha v central'nij ta pery'-ferijny'x zoni suchasnogo mista / T. S. Yarmosh, A. A. Snim-shhikova. // Byelgorods'kyj derzhavnyj tekhnologichnyj uni-versy'tet im. V.G. Shuxova.*

9. Bobrov Ye. A. *Social'no-ekologichni problemy' ve-ly'ky'x mist ta shlyaxy' yix vy'rishennya / Ye. A. Bobrov. // Naukovi vidomosti BelGU. Seriya: Pry'rodny'chi nauky'.. – 2011. – #15. – S. 199–208.*<http://gistechinik.ru/publik/git.html>

10. Koryugin R. V. *3-d modelyuvannya pam'yatok arxi-tektury' misti Irkuts'ku z vy'kory'stannyam GIS / R. V. Koryugin. // INTEREKSPLO GEO-SY'BIR: Sy'birs'kyj der-zhavnyj universy'tet geosy'stem i tekhnologij (Novosy'-birs'k). – 2007. – #1. – S. 242–245.*

11. Laryakov Yu.Yu. *Majbutnye texnichnoyi inventary'-zacyi v zv'yazku z perexodom do kadaastrovoyi diyal'nosti // - GUP MO «MOBTY» – 2011:12-ya Vseros. naukovo-prakty'chna konf.«Geoinformaty'ka v naftogazovij galu-zi». – [B. m.], 2011.*

12. *Mistobuduvannya. Naseleni punkty'. Normy' planuvannya ta zabudovy': TKP 45-3.01-116-2008 (02250). – Mins'k: M-vo arxitektury' ta bud-va Resp. Bilorus', 2009. – 64 s.*

1. Dolya, V. (2011). *Pasazhyrski perevezennia*. Kharkiv : Fort, 503.

2. Mahjoub, Y. I., El-Alaoui, E. H. C., Nait-Sidi-Moh, A. (2017). Modeling a bus network for passengers transportation management using colored Petri nets and (max, +) algebra. *Procedia Computer Science*, 109, 576–583. doi:10.1016/j.procs.2017.05.344

3. Dolya, C., Botsman, A., Kozhyna, V. (2017). Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system. *Technology audit and production reserves*, 4(2(36)), 24–28. doi:10.15587/2312-8372.2017.108889

4. Dolya, C. (2017). Modeling of passenger transport correspondence between regional centers in Ukraine. *Technology audit and production reserves*, 1(2(33)), 44–48. doi:10.15587/2312-8372.2017.93458

5. Dolya, C. (2017). Modeling of intercity passenger transportation system. *Technology audit and production reserves*, 2(2(34)), 37–43. doi:10.15587/2312-8372.2017.100465

6. Nekrasova, O. I. (2011). *Formirovanie tarifov transportnyh predpriatii na rynke gruzovyh zheleznodorozhnyh perezovok*. Vladivostok: Admiral Nevelskoy Maritime State University, 174.

7. Mihaltsev, E. V. (1957). *Sebestoimost' zhelznodorozhnyh perezovok*. Gosudarstvennoe transportnoe zheleznodorozhnoe izdatel'stvo, 415.

8. Semina, I. A., Folomejkina, L. N., Salkaeva, D. F. (2012). The nature and characteristics of the concept of «transport infrastructure». *Sworld Collected Works*, 35 (3), 41–45.

9. Skvortsov, A. V., Pospelov, P. I., Boykov, V. N., Krysin, S. P. (2006). *Geographical information system in road industry: Reference encyclopedia of roadman. Vol. VI*. Informavtodor, 372. doi:10.17273/book.2006.2
10. Gasnikov, A. V., Klenov, S. L., Nurminskii, E. A., Holodov, Ya. A., Shamrai, N. B.; In: Gasnikov, A. V. (2010). *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov*. Moscow: Moscow Physical Technical Institute, 362.
11. Sarychev, D. S., Skvortsov, A. V., Sliusarenko, S. G. (2002). Primenenie grafovyyh modelei dlia analiza inzhenernyh setei. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 275, 70–74.
12. Sarychev, D. S. (2003). Sovremennye informatsionnye sistemy dlia inzhenernyh setei. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 280, 358–361.
13. Purtov, A. M. (2011). Integratsiia tehnologii GIS i metoda reduksii grafov dlia analiza transportnyh setei. *Omskii nauchnyi vestnik*, 1 (97), 164–168.
14. Sarancha, M. A. (2010). Otsenka transportnoi obespechennosti territorii Udmurtskoi Respubliki s ispol'zovaniem GIS dlia tselei turistsko-rekreatsionnyh issledovaniy. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle»*, 2, 64–68.
15. Ilina, E. A. (2013). Otsenka vliianiia razvitiia transportnoi seti na ekonomicheskoe razvitie regiona. *Ars Administrandi*, 2, 91–97.
16. Golskaia, Yu. N. (2013). *Otsenka vliianiia transportnoi infrastruktury na sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie regiona*. Ekaterinburg, 24.
17. Purtov, A. M. (2011). Integration of GIS technology and method of graph reduction analysis of transport networks. Purtov. *Omskii nauchnyi vestnik*, 1 (97), 164–168.

Навчальне видання

ДОЛЯ Костянтин Вікторович,
ДОЛЯ Олена Євгенівна

Геоінформаційні системи на транспорті

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

Дизайн обкладинки *Т. А. Лазуренко*

Підп. до друку 27.01.2017. Формат 60 * 84/16
Друк на ризографі Ум. друк. арк. 10,0
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

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