

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек,
О. О. Железняк, А. О. Терещенко**

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ
І БАЗИ ДАНИХ**

Монографія

Ніжин
2014

УДК 681.518.3:528
ББК 32.973.202(26.12)
3-38

Рекомендовано до друку Вченою радою
Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету
(протокол № 4 від 26.11.2014 р.)

Рецензенти:

Чурюмов К. І. – професор, член-кореспондент Національної академії наук України, головний спеціаліст Астрономічної обсерваторії Київського університету, доктор фізико-математичних наук;

Шмаров В. М. – професор Національного авіаційного університету, доктор технічних наук;

Зазуляк П. М. – професор Національного університету "Львівська політехніка", доктор фізико-математичних наук

3-38 **Геоінформаційні системи і бази даних : монографія / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с.**
ISBN 978-617-527-121-6

У монографії визначена та сформульована сутність геоінформації, геоінформаційних технологій (ГІТ), понятійний апарат геоінформаційних систем (ГІС) і їх функціональні можливості. Розглянуті питання введення даних і їх цифрування. Висвітлені питання створення та збереження електронних карт за допомогою ГІТ. Представлені концептуальні основи ГІС, мета та принципи побудови ГІС, розглянуті сучасні технології обробки геопросторової інформації, моделі, що лежать у їх основі, сучасні напрями застосування ГІС і перспективи розвитку.

Викладені моделі й алгоритми, що лежать в основі ГІС. Розглянуті програмні засоби реалізації, інтеграції даних і технологій. Монографія містить графічні ілюстрації, що пояснюють роботу ГІС.

Книга може бути корисною для науковців, керівників державних установ, викладачів вищої школи, аспірантів і студентів.

УДК 681.518.3:528
ББК 32.973.202(26.12)

ISBN 978-617-527-121-6

© В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек,
О. О. Железняк, А. О. Терещенко, 2014
© НДУ ім. М. Гоголя, 2014

ЗМІСТ

Вступ	9
I. Загальні поняття про інформаційні та геоінформаційні системи	17
1.1. Загальні поняття про інформацію	17
1.2. Інформаційні системи, їх класифікація та складові	23
1.3. Компоненти інформаційних систем	30
1.4. Поняття про геоінформатику та географічні інформаційні системи.....	32
1.5. Поняття про геодані	35
1.6. Задачі геоінформатики	38
1.7. Визначення ГІС	38
1.8. Галузі застосування ГІС	44
1.9. Компоненти ГІС	47
1.10. Відмінність ГІС від інших інформаційних систем	51
1.11. Джерела виникнення ГІС	59
1.11.1. Системи автоматизованого проектування	59
1.11.2. Автоматизовані картографічні системи та системи настільного картографування.....	61
1.11.3. Системи керування мережами.....	62
1.11.4. Системи керування базами даних	64
1.12. Інтеграція ГІС з іншими науками про Землю	64
II. Історія розвитку ГІС	68
2.1. Передумови розвитку ГІС	68
2.2. Етапи розвитку ГІС	71
2.3. Історія розвитку відкритих ГІС	105
2.4. Розвиток ГІС в Україні.....	105
2.5. Перспективи розвитку ГІС на найближчі роки	109
III. Структура, функції та технології ГІС	119
3.1. Загальні визначення	119
3.2. Структура ГІС.....	122
3.2.1. Підсистема введення, підготовки та попередньої обробки інформації.....	123
3.2.2. Підсистема збереження, оновлення й керування базами даних	128
3.2.3. Підсистема обробки інформації, моделювання й аналізу даних.....	131
3.2.4. Підсистема контролю, візуалізації та виведення інформації.....	132
3.3. Функції ГІС	134
3.4. Геоінформаційні технології (ГІТ).....	137
3.5. Загальні вимоги до документування в ГІС	143
3.6. Класифікація ГІС	145

IV. Подання об'єктів реального світу в ГІС	155
4.1. Визначення поняття геопростору	155
4.2. Визначення поняття просторового об'єкта та його опис у ГІС	156
4.3. Визначення поняття просторових відношень у ГІС	164
4.4. Класифікація властивостей геоінформації.....	165
4.5. Класифікація компонентів геопростору.....	166
4.5.1. Дискретні явища	168
4.5.2. Геометричні об'єкти високого рівня	174
4.5.3. Безперервні явища	181
4.5.4. Узагальнені за площею об'єкти	183
V. Інформаційне забезпечення ГІС	186
5.1. Джерела даних для ГІС	186
5.2. Картографічні джерела.....	189
5.2.1. Класифікація картографічних джерел	192
5.2.2. Типи картографічної інформації	201
5.2.3. Координатна та висотна системи картографічних джерел	202
5.2.4. Алгоритм застосування картографічних знань	205
5.3. Дані дистанційних досліджень	206
5.4. Дані польових вишукувань (геодезичні й топографічні дані)	218
5.5. Дані кадастрів	220
5.6. Статистичні джерела даних	223
5.7. Internet як джерело даних для ГІС	224
5.8. Створення Internet-джерела даних.....	226
5.9. Текстові матеріали як джерело даних для ГІС	228
VI. Загальні відомості про моделі даних у ГІС	229
6.1. Класифікація моделей даних у ГІС	229
6.2. Організація та обробка інформації в ГІС	232
VII. Растрові моделі подання просторових даних	234
7.1. Принципи побудови растрових моделей.....	234
7.2. Растрові моделі на основі регулярних мереж	238
7.3. Растрові моделі даних на основі нерегулярних мереж.....	241
7.3.1. Полігони Тиссена.....	241
7.3.2. Діаграми Г. Вороного	242
7.3.3. Трикутні сітки неправильної форми.....	243
7.4. Ієрархічні моделі	244
7.5. Безструктурні гіперграфові моделі.....	248
7.6. Решітчасті моделі	249
7.7. Джерела даних для растрових моделей.....	249
7.8. Характеристики растрових моделей.....	249
7.8.1. Розрізненість	249
7.8.2. Орієнтація растрових моделей	251

7.8.3. Кодування комірок растрової моделі	251
7.8.4. Растрове подання контурів територіальних одиниць	253
7.8.5. Місце розташування елементів растрових моделей	254
7.8.6. Геометрія растрів	254
7.8.7. Визначення координат комірок	254
7.8.8. Визначення екстену регіону	256
7.8.9. Визначення топології комірок растрів	257
7.9. Використання растрів для зображення дискретних об'єктів	258
7.10. Використання растрів для зображення безперервних поверхонь	260
7.11. Збереження растрових даних	261
7.12. Перспективи застосування растрових моделей	263
7.13. Недоліки та переваги растрових моделей	264
VIII. Векторні моделі подання даних у ГІС	266
8.1. Загальні відомості про векторні моделі	266
8.2. Класифікація просторових даних, що використовуються у векторних ГІС	269
8.2.1. Безрозмірні об'єкти	269
8.2.2. Одновимірні об'єкти	270
8.2.3. Двовимірні об'єкти	271
8.2.4. Тривимірні об'єкти	271
8.3. Подання просторових об'єктів у векторній моделі	272
8.4. Нетопологічні (прості) векторні моделі	276
8.4.1. Модель "Спагеті"	276
8.4.2. Шейп-файли	277
8.4.3. Точкова полігональна структура	279
8.4.4. Лінійна полігональна структура	280
8.5. Необхідність введення топологічних відношень у ГІС	281
8.6. Поняття про топологічні відношення в ГІС	282
8.7. Характеристики топологічних моделей	284
8.8. Топологічні моделі сучасних ГІС	287
8.8.1. Опис топологічної інформації	287
8.8.2. Топологічні подання полігонів	294
8.8.3. Топологічне подання зв'язності	296
8.8.4. Векторно-топологічна (лінійно-вузлова) модель	297
8.8.5. DIME-структура	300
8.8.6. Структура "дуга-вузол"	301
8.8.7. Геореляційна структура	303
8.8.8. TIN-модель	307
8.9. Топологія в TIN-моделі	309
8.10. Етапи створення TIN-моделі	310
8.11. Засоби TIN для відображення поверхні	312
8.12. Ланцюгове кодування	313
8.13. Вибір способу формалізації та перетворення структур даних	315

8.14. Порівняння векторних і растрових моделей подання просторових даних	316
8.15. Аналіз подання геооб'єктів векторними моделями.....	320
ІХ. Загальні відомості про системи керування базами даних	321
9.1. Передумови виникнення концепції баз даних	321
9.1.1. Файлова організація масивів даних	323
9.1.2. Необхідність розробки СКБД	325
9.1.3. Бази і банки даних як засіб збереження даних.....	326
9.2. Етапи розвитку систем керування базами даних.....	328
9.3. Структурні елементи бази даних.....	335
9.4. Функції СКБД.....	341
Х. Принципи побудови баз даних, їх архітектура і класифікація	343
10.1. Принципи побудови баз даних	343
10.2. Трирівнева архітектура баз даних	346
10.3. Забезпечення незалежності СКБД від даних	351
10.4. Відображення рівнів моделей	351
10.5. Організація процесу проходження користувачького запиту	352
10.6. Користувачі СКБД.....	353
10.7. Класифікація СКБД і моделей баз даних	358
ХІ. Моделі баз даних.....	367
11.1. Класифікація моделей баз даних за рівнями подання	367
11.2. Інфологічні моделі.....	369
11.3. Даталогічні моделі.....	377
11.4. Фізичні моделі	386
ХІІ. Реляційні моделі та нормалізація відношень у них.....	388
12.1. Загальні відомості про реляційні моделі баз даних	388
12.2. Ключі	394
12.3. Зв'язування відношень	396
12.4. Реляційні операції.....	401
12.5. Правила Кодда	404
12.6. Нормалізація реляційних баз даних	406
12.6.1. Перша нормальна форма	406
12.6.2. Друга нормальна форма.....	407
12.6.3. Третя нормальна форма	408
12.6.4. Четверта нормальна форма.....	409
12.6.5. П'ята нормальна форма	409
12.7. Денормалізація баз даних	409
12.8. Переваги та недоліки реляційного підходу у створенні баз даних.....	410

XIII. Підвищення ефективності роботи баз даних	411
13.1. Паралельні обчислення	411
13.1.1. Поняття транзакції	411
13.1.2. Рівні ізоляції	413
13.1.3. Виконання транзакцій	414
13.2. Обробка транзакцій	415
13.2.1. OLTP-системи	415
13.2.2. OLAP-системи	415
13.2.3. Моніторинг транзакцій	416
13.3. Оптимізація баз даних	416
13.4. Організація безпеки баз даних	419
13.5. Захист баз даних від несанкціонованого доступу	421
13.6. Захист баз даних від несанкціонованого використання ресурсів	421
13.7. Захист баз даних від некоректного використання ресурсів	423
13.8. Захист баз даних за допомогою внесення надлишковості	423
XIV. Мова структурованих запитів SQL	424
14.1. Загальні відомості про структуровану мову запитів	424
14.2. Категорії команд SQL	426
14.3. Переваги мови SQL	427
14.4. Базові поняття реляційних баз даних	429
14.5. Фундаментальні властивості відношень	431
14.6. Базисні засоби маніпулювання реляційними даними	432
14.7. Запис SQL-операторів	433
14.8. Засоби маніпулювання відношеннями	434
14.9. Загальна інтерпретація реляційних операцій	435
14.10. Спеціальні операції реляційної алгебри	437
XV. Організація збереження даних у ГІС	440
15.1. Загальні відомості про збереження даних у ГІС	440
15.2. Типи файлів бази даних	442
15.2.1. Невпорядковані файли	442
15.2.2. Послідовно впорядковані файли	443
15.2.3. Індексовані файли	443
15.3. Принципи організації даних у ГІС	445
15.3.1. Пошаровий принцип організації даних	445
15.3.2. Об'єктно орієнтований принцип організації даних	457
15.4. Моделі організації даних	463
15.4.1. Сутність геореляційної моделі даних ESRI	464
15.4.2. Збереження даних у моделі "Шейп-файл"	466
15.4.3. Збереження даних у моделі "Покриття"	468
15.5. Об'єктно орієнтована модель даних "База геоданих"	470
15.5.1. Визначення бази геоданих	470
15.5.2. Об'єктно орієнтована векторна модель даних	471

15.5.3. Переваги бази геоданих.....	472
15.5.4. Засоби надання інтелектуальних властивостей просторовим об'єктам	472
15.5.5. Топологія в базі геоданих.....	473
15.5.6. Підтипи	474
15.5.7. Домени.....	475
15.5.8. Відношення та класи відношень	476
15.5.9. Елементи об'єктно орієнтованої моделі "База геоданих"	478
15.5.10. Таблиці	479
15.5.11. Розширення таблиць	480
15.5.12. Класи просторових об'єктів	480
15.5.13. Розширення класів просторових об'єктів.....	481
15.5.14. Набори растрових даних.....	482
15.5.15. Розширення растрів	482
15.6. Типи баз геоданих.....	483
15.7. Вимоги до баз геопросторових даних.....	484
Список використаної літератури	486

ВСТУП

*Багато справ вважалися неможливими, поки не були здійснені.
Пліній Старший*

Інформація вже давно оцінена людством, як одна з найважливіших складових його життя. Якщо звернутись до Священного Писання, то можна з'ясувати, що Господь Бог або античні боги підказують своїм протеже, надають інформацію як найбільшу милість і підтримку.

Усім відома історія Ноя, тільки тому Бог відкрив таємницю майбутнього потопу. Інші, не знали цього, залишились на дні вселенського моря. А Ною випала честь стати нашим прабатьком. Тому власник інформації (Ной) виявився, з усіх точок зору, в надзвичайно вигідному становищі.

В грецькій міфології античні боги своїм улюбленцям раз по раз надавали інформаційну підтримку, без якої виконання завдань, що стояли перед ними, було б неможливим. Наприклад, Ахілл, мати якого – Фетіда, бажаючи зробити тіло свого сина невразливим, занурила його у води священної річки Стікс, тримаючи сина за п'яту, якої не торкнулася вода. Саме тому п'ята залишилась єдиним вразливим місцем Ахілла. Мабуть, він один би зруйнував Трою, якби боги не відкрили троянському герою Парису секрет вразливості Ахілла. Надання цієї життєво важливої інформації призвело до загибелі Ахілла.

За незаконне використання інформації, за її розголошення завжди приходило достатньо суворе покарання. Згадаємо Прометея, який викрав у античних богів секрет вогню і за цю провину був прикований до скелі в Гібралтарі. Орел кожного ранку викльовував у нього печінку, яка за ніч встигала відрости. Це суворе покарання Прометей отримав за розголошення людям інформації, яка була доступна тільки античним богам. Наведені приклади свідчать, що інформація для людства завжди була одним із найважливіших елементів його життя.

Люди, які виконують управлінські функції знають, що успіх і процвітання залежить від володіння різноманітною інформацією та можливостями її швидкого перегляду й аналізу.

"Хто володіє інформацією, той володіє світом", – ці слова Бісмарка актуальні сьогодні, як ніколи.

XXI ст., безперечно, буде століттям інформації. Як би не розвивалися різні галузі науки та техніки, яких би нових висот не досягло людство, але інформація з кожним днем стає все більш важливим ресурсом, який стимулює розвиток суспільства, з одного боку, а з іншого – вимагає для її опрацювання залучення сучасних інформаційних технологій.

Застосування комп'ютерів пройшло шлях від суто наукових розрахунків до масового користування й управління, від роботи з окремими змінними і файлами до збереження й обробки величезних масивів інформації та створення інформаційних систем. Інформатизація й інформаційні технології охопили всі сторони життя суспільства, важко назвати будь-яку сферу людської діяльності – від шкільної освіти до високої державної політики, – де б не відчувалась її потужна дія [4]. Інформація стала критичним компонентом успіху в будь-якій справі.

Життя все частіше й наполегливіше потребує від керівників різного рівня швидких і ефективних рішень, тобто знань про те, що потрібно робити в певний час і певному місці.

Оскільки з часом значна частина інформації зазвичай швидко старіє (втрачає актуальність), то стає все складніше використовувати її в традиційному паперовому вигляді для прийняття управлінських рішень.

Швидкість одержання інформації та її актуальність може гарантувати тільки автоматизована система. При цьому масове застосування комп'ютерів зумовлене не стільки тим, що вони вміють обчислювати швидше і точніше за людину, а тим, що без них просто неможливо впоратися зі зростаючим валом інформації.

Розвиток комп'ютерної техніки зумовлює не тільки покращання видів обробки даних, які вже використовуються, але й постійне залучення нових видів даних, комп'ютеризацію нових галузей знань і управління, створення інформаційних систем.

Система (від грец. *sysntema* – ціле, складене з частин; сполучення) – *множина елементів, що знаходяться у відношеннях і зв'язках один з одним і які утворюють певну цілісність (єдність).*

Інформаційна система (ІС) – *це сховище інформації, яке забезпечене процедурами введення, пошуку, розміщення, обробки аналізу й видачі інформації за запитами.*

Метою створення будь-якої ІС є обробка даних про об'єкти певної предметної області.

Предметна область – *частина реального світу, яка підлягає вивченню для організації дослідження, моніторингу, управління тощо.*

Робота ІС полягає в обслуговуванні двох зустрічних потоків інформації: введення нової інформації та видачі користувачам опрацьованої інформації на запит. Через те що головна задача інформаційної системи – обслуговування клієнтів, система повинна бути влаштована таким чином, щоб відповідь на будь-який запит оброблялась швидко і була при цьому достатньо змістовною.

Тому виникла необхідність створення автоматизованої системи, яка має велику кількість графічних і тематичних баз даних та інтегровану з модельними розрахунковими функціями для перетворення даних у просторову інформацію й наступного прийняття управлінських рішень.

Сучасні інформаційні технології ґрунтуються на концепції, відповідно до якої дані повинні бути організовані в бази даних з метою адекватного відображення об'єктів певної предметної області (які мають тенденцію постійно змінюватись) і задоволення інформаційних потреб користувачів.

Сукупність відомостей про об'єкти певної предметної області зберігається в базах даних. Створюючи БД, користувач прагне впорядкувати інформацію за різними ознаками, здійснювати за необхідності швидкого її пошуку, аналізу й обробки. Ці бази даних створюються та функціонують під керуванням спеціальних програмних комплексів, які отримали назву систем керування базами даних (СКБД).

У науках про Землю інформаційні технології дали поштовх до створення геоінформатики.

Одним із чинників ефективного використання інформації є ефект від використання просторово-локалізованої інформації, ефективним інструментом аналізу якої є геоінформаційні системи (ГІС) та геоінформаційні технології (ГІТ).

ГІС – це унікальне явище сучасної міждисциплінарної науки, ефективне функціонування якої інтегрує найрізноманітніші дані (космічних і аерофотознімання, інформаційні ресурси, накопичені людством у найрізноманітніших галузях науки), впроваджує передові розробки сучасного програмування, алгоритмізації, прикладної математики тощо. Ми живемо в час, який гучно називається Digital Earth – цифровою Землею.

Однією з властивостей геоінформації є те, що хоча різні люди можуть застосовувати її для розв'язку безлічі різних завдань, сама інформація, а також методи її узагальнення й аналізу залишаються практично однаковими, їх можна використовувати для розв'язку різноманітних задач. Наприклад, школи, муніципальні інженерно-комунальні та дорожньо-ремонтні служби, служби швидкого реагування, планувальники, правознавці, бізнесмени, транспортні організації, діяльність яких здійснюється на певній території, використовують схожі, а часом й однакові, бази даних про територію: топографію, адміністративні межі, адреси, мережу доріг, промислові та сільськогосподарські об'єкти, пам'ятки архітектури і культури, природоохоронні об'єкти, гідрографію тощо. Вони застосовують цю інформацію для розв'язку різноманітних завдань, але базова інформація залишається однією й тією ж. Більше того, функціональність, яку вони використовують для накопичення й аналізу цієї інформації, також у більшості випадків є однаковою (ідентичною) – більшості з них потрібно створювати й візуалізувати карти, плани і схеми, здійснювати адресний пошук, вимірювати відстані й площі, накладати один на одного шари з різною інформацією, аналізувати властивості близькості та сусідства тощо.

ГІС – сучасні комп'ютерні технології для картографування й аналізу об'єктів реального світу, подій і явищ, що відбуваються та будуть відбуватись у прогнозованому періоді. ГІС – це інформаційна система, яка забезпечує збір, збереження, обробку, доступ, відображення та поширення геопросторових даних [1].

Геопросторові дані – це дані, які ідентифікують географічне місце розташування та властивості природних або штучно створених об'єктів, а також їх межі на Землі. Ця інформація може отримуватися за допомогою GPS, дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), картографування й різноманітних видів знімань тощо.

Як свідчать спеціальні дослідження [22], 75–90 % усієї інформації, яку використовують спеціалісти різного рівня, містять у собі географічні (метричні, просторові) дані, тобто різні відомості про розподіл у просторі або по територіях об'єктів, явищ, процесів, подій. А робота з геоданими і є суттю ГІС.

Сфера використання ГІС дуже широка. Від планування надання медичних послуг до визначення місця під забудову супермаркета, від посадки лісів до встановлення кабельного телебачення, люди з усіх частин земної кулі щоденно обробляють географічні дані, застосовуючи при цьому геоінформаційні технології.

Сьогодні важко уявити без ГІС та просторового моделювання й аналізу процес планування, управління, оцінки результатів багатьох сучасних інформаційних технологій, дослідження природних ресурсів, управління арміями і зброєю, діяльність місцевих адміністрацій, виборчі механізми й компанії тощо.

ГІС охоплюють усі просторові рівні: глобальний, регіональний, національний, локальний, муніципальний; інтегрують різноманітну інформацію про нашу планету: картографічну, ДДЗ, статистику та перепис населення, кадастрові відомості, гідрометеорологічні дані, матеріали польових топогеодезичних знімачів тощо. Вони застосовуються в усіх галузях господарського комплексу і можуть функціонувати на найрізноманітніших рівнях.

Навіть миттєвий погляд на мапу дає змогу оцінити особливості й закономірності просторово-розподілених подій і явищ. Розроблені в ГІС автоматизовані методи просторового аналізу вже сьогодні є потужною зброєю в руках дослідника, менеджера, керівника будь-якого рівня та навіть простого споживача. Ідеї, закладені в ГІС, стають каталізатором процесів інтеграції ГІТ, надаючи їм новий вимір. При цьому геопросторові дані стають стратегічно важливою інформацією як для корпоративної діяльності, так і в структурі національної безпеки держави.

Геоінформаційна освіта має специфічні риси, які відрізняють її від інших напрямів підготовки: міждисциплінарний характер (математичні, інформаційні та геонауки), вагома інженерно-технологічна складова (геоінформаційні технології), колосальний об'єм графічної інформації (зокрема матеріали ДЗЗ), широкий спектр можливих застосувань тощо. Додаткові складнощі вивчення геоінформатики та ГІС пов'язані з їх орієнтацією на роботу з інформацією, яка істотно розподілена як у часі, так і в просторі.

Предметом ГІС є дослідження закономірностей інформаційного забезпечення користувачів, включаючи принципи побудови системи збору, накопичення, обробки, моделювання й аналізу просторових даних, їх відображення та використання, доведення до користувачів, формування технічних програмних засобів, розробки технології виготовлення електронних і цифрових карт, формування відповідних організаційних структур.

Основні галузі застосування ГІС. ГІТ розвивалися та розвиваються так само швидко, як і інші інформаційні технології з обробки даних. Фактично вони йшли тим же шляхом розвитку, що й будь-які інші інформаційні технології – введення даних, редагування даних, організація потоків даних, вихід в Інтернет.

Сьогодні ГІС працюють і на персональних комп'ютерах, і на серверах, і в Інтернет, і на КПК, і навіть на мобільних телефонах. Застосування ГІС можна знайти практично скрізь. Але найбільшу віддачу можна отримати там, де основне значення має просторовий характер інформації: в геології, екології, картографії, землекористуванні, військовій справі, – тут ГІС працюють уже давно і дуже успішно. Саме там створювалися перші ГІС.

Більшість застосувань ГІС визначається їх здатністю пов'язувати просторову й описову (атрибутивну) інформацію з можливістю їх спільного аналізу. ESRI називає близько 80 галузей використання ГІС. У переліку геоінформаційних додатків можна виділити базові типи поширених завдань [54, с. 121–134]:

1) **завдання обліково-інвентаризаційного типу**, де акцент робиться на даних, вимірах та оцінці "ступеня подібності" (задачі земельного кадастру, підрахунки запасів природних ресурсів, управління розподіленою виробничою інфраструктурою). Це найпоширеніший тип додатків ГІС. Для додатків такого типу характерна робота з великою кількістю географічних об'єктів і висока детальність вивчення територій;

2) **завдання планування розвитку, вибору маршрутів і управління перевезеннями**. Специфіка додатків цього типу пов'язана з нетрадиційними постановками оптимізаційних завдань, заданими на структурах припустимих шляхів;

3) **моделювання і складні методи аналізу даних**. Типове завдання – прогнозування повеней через аналіз водозбору та водостоку на заданому рельєфі.

Як приклад розглянемо галузі, де застосування ГІС стало вже традиційним.

Управління та планування розвитку територій. Ця галузь ґрунтується на передбачуваний поведінці різних соціальних груп, які визначають суспільні потреби та можливості, що мають задане або передбачуване розміщення і динаміку в межах певної території.

Містобудування й архітектура. Проектування, інженерні вишукування, планування в містобудуванні, архітектурі. Це типова робота міських служб, що забезпечують нормальний розвиток підвідомчої території.

Інженерна інфраструктура. Інвентаризація, облік, планування розміщення об'єктів розподіленої виробничої інфраструктури (водопостачання, водовідведення, тепlopостачання, газопостачання, електропостачання) та управління ними, оцінка стану та прийняття рішень при ремонтних або аварійних ситуаціях.

Управління земельними ресурсами, земельні кадастри. Галузь характерна своєю власне географічною орієнтацією. Типовими задачами виступають складання кадастрів, класифікаційних карт, визначення меж ділянок, площ тощо.

Управління природними ресурсами та природоохоронна діяльність. Тут типовими проблемами є визначення поточних станів і запасів спостережуваних ресурсів, моделювання процесів у природному середовищі та побудова обґрунтованих рішень, прийнятих за управління засобами, що змінюють природні ресурси.

Геологія, мінерально-сировинні ресурси, горно-видобувна промисловість. Специфіка таких проблем полягає в тому, що потрібно розрахувати запаси корисних копалин на певній території за результатами визначення в окремих точках (розвідницьке буровлення, пробні шурфи тощо) при відомій моделі процесу утворення родовища.

Планування й управління перевезеннями (логістика). На карті задаються пункти збереження вантажів зі своїми характеристиками, пункти, що очікують потрібні їм вантажі; засоби перевезення зі своїми характеристиками, позицією, станом і спеціалізацією; мережа доріг зі своїми характеристиками (середня швидкість, ремонти, об'їзди, пробки, границі, митні пункти тощо). Потрібно скласти план перевезень і корегувати його при виникненні непередбачених ситуацій.

Наземне, аеро- та гідронавігаційне картографування й керування наземним, повітряним і водним транспортом. Традиційні галузі зі зрозумілими завданнями. Особливе місце займають завдання керування рухомими об'єктами за умовою виконання заданою системою відношень між ними та нерухомими об'єктами.

Маркетинг і аналіз ринку. Визначення тенденцій розвитку ситуації, оцінка впливу різних топологічних властивостей – близькості, перетинань і суміщень різних ареалів на їх взаємодію, урахування різних умов визначених на об'єктах із заданими позиціями, потребами та можливостями їх розвитку.

Сільське господарство. Підрахунок запасів ресурсів за низкою точкових вимірів, планування перевезень, взаємодія динаміки зміни ареалів, категоризація та виділення "подібності" просторових об'єктів, точне землеробство.

Надзвичайні ситуації. Облік потенційно небезпечних об'єктів, моделювання наслідків у надзвичайних ситуаціях.

Служби швидкого реагування. Суспільна безпека, пожежогасіння, швидка медична допомога.

Додатково до зазначених галузей треба віднести державне, регіональне та муніципальне управління, демографію, зонінг, реєстрацію власності, оподаткування, банківську справу, сфери сервісу, торгівлі, бізнесу, соціального страхування, моніторингу природного середовища, екологію, оцінку можливих впливів на природу, водні ресурси, гідрологію, ґрунтознавство, лісове господарство, галузі військового застосування.

Зазвичай, чим більше різноманітних даних уведено в ГІС, тим більше різних видів аналізу можна здійснювати, тим більше нових вторинних даних можна отримати на основі наявних. При цьому, розв'язок багатьох відомих завдань істотно спрощується. Наприклад, за цифровою моделлю рельєфу та схемою доріг ГІС дозволяє будувати висотні профілі доріг і визначати небезпечні ділянки. Навіть якщо ці дані користувач уже отримав з інших джерел, можливість їх незалежного створення може бути використана для перехресної перевірки даних і покращання вірогідності бази даних у цілому. Причому, систему можна організувати таким чином, щоб інші перевірки провадилися автоматично, перешкоджаючи внесенню в неї некоректних даних. Схожий механізм широко використовується в стандартних реляційних СКБД, які не містять інформації про властивості простору та просторові відношення об'єктів, інформацію про які вони зберігають. Тут інструменти ГІС виявляються незамінними.

ГІС – це багатомільйонна індустрія, в яку залучені мільйони людей у всьому світі. ГІС вивчають в школах, коледжах і університетах. Цю технологію застосовують практично в усіх сферах людської діяльності, наприклад, для аналізу глобальних проблем перенаселення, забруднення території, скорочення лісових угідь, природних катастроф. Вони використовуються для розв'язку окремих завдань, таких, як пошук найкращого маршруту руху між пунктами, підбір оптимального розташування нового офісу, пошук будинку за його адресою, прокладка трубопроводу або лінії електропередачі на місцевості, різні муніципальні завдання (наприклад, реєстрація земельної власності).

ГІС не тільки дозволяють інтегрувати в єдине інформаційне середовище різноманітну інформацію, але й надають різноманітні засоби візуалізації. Так, наприклад, ArcView GIS при підключенні відповідних модулів дозволяє відображати на карті траєкторії транспортних засобів у динаміці, візуалізувати карти в тривимірному зображенні, поєднати векторні карти з аеро- та космічними знімками тощо.

Отже, можливості ГІС можуть бути задіяні в найрізноманітніших сферах діяльності, зокрема:

– **адміністративно-територіальному управлінні:**

- ситуаційне управління;
- міське планування та проектування об'єктів;
- ведення кадастрів інженерних комунікацій, земельного, містобудівного, зелених насаджень;
- прогнозування надзвичайних ситуацій техногенно-екологічного характеру;
- керування транспортними потоками та маршрутами міського транспорту;
- побудова мереж екологічного моніторингу;
- інженерно-геологічне районування міста;

– **телекомунікаціях:**

- транковий і стільниковий зв'язок, традиційні телекомунікаційні мережі;
- стратегічне планування телекомунікаційних мереж;
- вибір оптимального розташування антен, ретрансляторів тощо;
- визначення маршрутів прокладки кабелю;
- моніторинг стану мереж;
- оперативне диспетчерське управління;

– **інженерних комунікаціях:**

- оцінка потреб у мережах водопостачання та каналізації;
- моделювання наслідків стихійних ситуацій для систем інженерних комунікацій;
- проектування інженерних мереж;
- моніторинг стану інженерних мереж і запобігання аварійних ситуацій;

– **транспорті:**

- автомобільний, залізничний, водний, трубопровідний, авіатранспорт;
- керування транспортною інфраструктурою та її розвитком;
- керування парком рухомих засобів і логістика;
- керування рухом, оптимізація маршрутів і аналіз вантажопотоків;
- навігація;

– **нафтогазовому комплексі:**

- геологорозвідка та польові досліджувані роботи;
- моніторинг технологічних режимів роботи нафто- і газопроводів;
- проектування магістральних трубопроводів;
- моделювання й аналіз наслідків аварійних ситуацій;

– **силових відомствах:**

- служби швидкого реагування, збройні сили, прикордонні війська, МВС, пожежні служби, МНС;
- планування рятувальних операцій і охоронних заходів;

- моделювання надзвичайних ситуацій;
- стратегічне та тактичне планування військових операцій;
- навігація служб швидкого реагування й інших силових відомств;
- **екології**:
- оцінка та моніторинг стану природного середовища;
- моделювання екологічних аварій і катастроф, аналіз їх наслідків;
- планування природоохоронних заходів;
- **лісовому господарстві**:
- стратегічне управління лісовим господарством;
- управління лісозаготівлями, планування підходів (під'їздів) до лісу та проектування доріг;
- ведення лісових кадастрів;
- **сільському господарстві**:
- планування обробки сільськогосподарських угідь;
- облік землевласників і орних земель;
- оптимізація транспортування сільськогосподарських продуктів і мінеральних добрив;
- точне землеробство.

ГІС розвиваються в напрямках:

- 1) підготовка картографічних продуктів;
- 2) створення інформаційно-довідкових систем;
- 3) аналіз, моделювання та прогнозування.

Фахівці, які працюють у галузі ГІС і ГІТ, займаються:

- збором і накопиченням первинних даних;
- проектуванням баз даних;
- проектуванням ГІС;
- плануванням, управлінням і адмініструванням геоінформаційних проектів;
- розробкою та підтримкою ГІС;
- маркетингом і поширенням геоінформаційної продукції та геоданих;
- професійною геоінформаційною освітою та навчанням ГІТ.

Головними споживачами геоінформації є (можуть бути): структури виконавчої влади, планові підрозділи, податківці, юридичні й правозахисні органи, архітектори всіх рівнів і земельні служби міст і районів, комунальники, лісники й водники, науково-дослідні та проектні інститути, будівельні організації, біржі всіх призначень, торговельні організації, інспекції та контрольні органи соціально-економічного й технічного нагляду, закордонні партнери та інвестори, комерсанти, підприємці, приватні особи.

На даному етапі розвитку суспільства спостерігається все більш широка взаємодія геоінформаційних і мережевих технологій, яка породжує інтегральне мережеве геоінформаційне середовище, що базується на багатьох тематичних базах даних, єдиних тематичних моделях і спільному програмному забезпеченні. ГІС, озброєні Web-серверами, по суті, стають глобальною ГІС. У зв'язку з цим різко зростає потреба набуття знань у галузі ГІС і ГІТ.

I. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

*У житті, зазвичай, процвітає більше інших той,
хто володіє кращою інформацією.
Б. Дізраелі*

У процесі розвитку інформаційного суспільства будь-який фахівець повинен вміти швидко сприймати й опрацьовувати великі обсяги інформації, використовувати сучасні комп'ютерні засоби, методи та інформаційні технології. Нові умови роботи ставлять у залежність інформованість однієї людини від інформації, добутої іншими людьми. Тому потрібно освоїти такі технології роботи з інформацією, коли готуються та приймаються рішення на засадах колективних знань, тобто людина повинна мати певний рівень інформаційної культури.

Інформаційна культура вбирає в себе знання тих наук, які сприяють її розвитку та пристосуванню до конкретного виду діяльності (кібернетика, інформатика, теорія інформації, математика, теорія проектування баз даних тощо). Невід'ємною частиною інформаційної культури є знання нових інформаційних технологій, передусім геоінформаційних, та умінь застосовувати їх як для автоматизації шаблонних операцій, так і в ситуаціях, що потребують нетрадиційного творчого підходу.

1.1. Загальні поняття про інформацію

Поняття "дані" у повсякденному житті часто використовується як синонім до терміна "інформація". Проте доцільно розрізняти ці два поняття. Термін "дані" може використовуватися в декількох аспектах. Якими ж можуть бути дані?

1. **Первинними фактами**, які об'єктивно відповідають у реальному світі певним предметам або умовам, незалежно від способу фіксації й інтерпретації людиною. Одне дерево вище за інше, а річка тече у напрямку сходу Сонця незалежно від того, чи спостерігає їх людина, чи ні. І якщо спостерігає, то як вона сприймає цю інформацію, або чи сприймає її взагалі.

2. Дані можуть бути **зафіксовані** тим або іншим способом, який не передбачає інтерпретації, наприклад, записані на магнітному носіїві електронним датчиком (сейсмічні сигнали) або на фотоплівку (фотографії ландшафту).

3. Дані можуть бути *інтерпретовані* людиною безпосередньо в процесі їх фіксації тим або іншим способом, наприклад, польова замальовка ландшафту, зроблена географом, заповнена співробітником соціологічної служби анкета, вербальний (словесний) опис оголення гірських порід у польовому щоденнику геолога тощо.

4. Дані можуть бути *закодовані* певним чином, наприклад, у вигляді паперової карти з певною легендою, у вигляді набору чисел – координат точок виміру глибин океану і власне виміряних глибин.

5. Дані можуть бути *структуровані* або організовані певним чином, наприклад, у вигляді таблиць із результатами перепису населення або у вигляді просторової бази даних під керуванням інформаційної системи.

Дані – це конкретність, що подана в певній формі (числом, записом, повідомленням, таблицею тощо), яка має якісну та кількісну характеристику об'єктів і придатна для постійного збереження, передачі й автоматизованого опрацювання.

Самі по собі дані не є цінністю. Дійсно, як можна віднести, наприклад, до таких даних:

(1) – "тридцять сім з половиною";

(2) – " $2 + 1 = 3$ ";

(3) – "Євнухович став директором".

Перше викличе здивування; друге – відчуття тривіальності (це знає кожний); третє – міркування, а хто такий Євнухович? У всіх наведених прикладах дані з різних причин – неінформативні, для того, щоб надати їм інформативності, тобто перетворити їх в інформацію, необхідно здійснити інтерпретацію даних.

Інтерпретація – процес перетворення даних в інформацію, процес надання їм змісту. Цей процес залежить від багатьох факторів: хто інтерпретує дані, яку апріорну інформацію вже має інтерпретатор, з яких позицій він розглядає отриманні дані тощо. Процес інтерпретації може здійснюватись особою або групою осіб, при цьому він може бути *творчим*, наприклад, розв'язок складної математичної задачі, або *формальним*, наприклад, визначення часу за годинником.

Дані – це повідомлення, спостереження. Якщо з'являється можливість використати їх для зменшення неповноти знань про що-небудь, вони перетворюються в інформацію.

Інформація – це дані, які можна використовувати з користю, наприклад, для збільшення знань про певні явища або предмети реального світу.

Інформація тісно пов'язана зі знаками (символами), які відображають її за допомогою мови. Якщо ми маємо в базі даних певну множину чисел і при цьому не володіємо ніякими, навіть приблизними знаннями про те, що це за числа, до якої предметної сфери вони відносяться, які величини представляють і для чого призначені, то ці числа навряд чи зможуть надати

корисну інформацію, тому неспроможні зменшити невизначеність наших уявлень про оточуючу дійсність. Однак усі ці цифри, що зберігаються в базі даних, є даними. Інформація, яка "витягується" з них, ґрунтується на певних знаннях про предмет. Наприклад, велосипед (рис. 1.1) може бути графічно представлений у вигляді кілець і декількох ліній, які зображують раму, вилку, руль, сидло, педалі тощо.



Рис. 1.1. Велосипед і його графічне зображення на дорожньому знаку "Велосипедна доріжка"

Такий геометричний образ є сукупністю елементів даних. Кожний окремий графічний елемент можна розглядати як дані. Але необхідні певні людські знання й уявлення для того, щоб цей графічний образ зображував предмет реального світу, який називається велосипедом і слугує засобом пересування.

На дошці оголошень з обміну квартир можна побачити оголошення з такими даними: " $1 + 1 = 3$ ", що означає: "Міняю дві однокімнатні квартири на трикімнатну". Однак чи була б можлива така інтерпретація даних, наприклад, у підручнику з арифметики? Мабуть, ні. Інший приклад. У базі даних є певні пари чисел. Тільки знання про те, що ці числа є картографічними координатами, розуміння того, що взагалі являє собою система координат, що таке картографічна проекція і про яку картографічну проекцію взагалі йде мова, як організована система координат у даній проекції, як направлені її осі, де розташовується початок координат, і які масштаби на осях та в яких одиницях виміру представлені дані координати, дозволяють надати зміст цим числам. Тільки знаючи все зазначене, можна стверджувати, що дані, представлені цими числами, є інформацією про просторове положення певних об'єктів. А для того, щоб зрозуміти або припустити, що це за об'єкти, місцеположення яких визначається, ще потрібна додаткова інформація.

Таким чином, щоб здобути з окремо взятих даних, які не знаходяться в будь-якому змістовному контексті, корисну інформацію, необхідна певна додаткова інформація особливого, структурного плану, що допоможе проінтерпретувати нові дані та ввести їх у загальну систему знань про оточуючий нас світ.

Процес перетворення даних у інформацію представлений на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Процес перетворення даних в інформацію

При описі даних природною мовою дані та їх інтерпретація зазвичай фіксуються разом. У комп'ютерному поданні дані й інтерпретація розділені: програми мають справу безпосередньо з даними, а семантика найчастіше взагалі не фіксується. Задачу інтерпретації даних покладають на програму, яка використовує певну модель даних.

Знання – спроможність отримувати на підставі одних даних інші. До того часу, поки не з'явиться інформація про те, як ці дані пов'язані з системою знань, вони не будуть корисною інформацією. Як тільки вдається залучити певні відомості про структуру даних і їх зв'язок з існуючою системою знань, вони пов'язуються з цією системою, стають її частиною і тим самим збільшують знання про цю систему, а значить стають корисною інформацією.

Таким чином, знання припускають системність, структурованість інформації, забезпечуючи можливість опису не тільки властивостей, але і взаємозв'язки між явищами й об'єктами реального світу. Цінність даних зростає на шляху від роз'єднаних елементів даних до корисної інформації та до системних знань.

З іншого боку, дані – це фізичне представлення (подання) інформації.

Інформація – набір повідомлень про об'єкти та явища навколишнього середовища (у вигляді сукупності символів, які є образами цих об'єктів, явищ), їх параметри, властивості та стан, що зменшують наявний ступінь невизначеності неповноти знань і які мають змістовне навантаження.

Властивості знаків і знакових систем вивчає наука *семіотика*. Семіотика виділяє три основні аспекти вивчення знаків і знакової системи:

– *синтактику*, що вивчає внутрішні властивості систем знаків без урахування інтерпретації (правила побудови знаків у межах знакової системи);

– *семантику*, що розглядає відношення знаків до позначеного концепту (змістовного значення), або відношення між знаками та їх концептами, незалежно від того, хто є інтерпретатором;

– *прагматику*, яка досліджує зв'язок знаків з концептом і денотатом¹ за допомогою інтерпретатора, тобто проблеми інтерпретації знаків

¹**Денотат** (від лат. denotatus – позначений, визначений) – об'єкт, те, що можна назвати певним ім'ям.

тими, хто їх використовує, їх корисності та цінності для інтерпретатора (зв'язок з денотатом – зв'язок із реальним світом).

Важливими умовами практичного використання інформації є її *своєчасність* і *адекватність*. Адекватність задає певний рівень відповідності побудованого на основі отриманої інформації образу реального об'єкта.

Адекватність виражають у трьох основних формах:

– ***синтаксична адекватність*** – визначає процес передачі інформації (швидкість, точність, систему кодування, наявність перешкод тощо);

– ***семантична адекватність*** – враховує зміст переданої інформації, відповідність образу об'єкта його реальному аналогові;

– ***прагматична адекватність*** – визначає відповідність отриманої інформації меті управління, яка реалізується на її базі.

Щоб краще усвідомити ці поняття, проаналізуємо приклад із життя. Припустимо, що Ви є провідним фахівцем фірми, яка працює на ринку створення програмних засобів для інформаційних систем (ІС). Ви отримуєте запрошення відвідати виставку програмного забезпечення. Запрошення містить певну інформацію про місце, час проведення виставки, склад учасників тощо.

Для задоволення вимог *синтаксичної адекватності* бланк запрошення повинен бути цілим, бажано виготовленим зі щільного паперу, шрифт – читабельним тощо. Тут йде мова про процес передачі повідомлення, однак, що саме надруковано на бланку, з позицій синтаксичної адекватності, нікого не турбує.

Семантична (змістовна) адекватність вимагає, щоб зміст повідомлення в запрошенні відповідав дійсності, тобто збігалися номери павільйонів, імена учасників, розклад заходів тощо.

Прагматична адекватність визначається корисністю повідомлень у запрошенні. Якщо, керуючись запрошенням, Ви швидко знайдете потрібний павільйон, своєчасно потрапите на семінар і, таким чином, заощадите свій час і нерви, значить, ця інформація є корисною, а вимоги прагматичної адекватності будуть виконані.

Зміст інформації визначається конкретними потребами. Якщо запрошення з певних причин буде отримано після закриття виставки, то інформація в запрошенні втратить свою актуальність, а це означає, що вона даремна, оскільки цією інформацією не можна скористатися.

Чим точніше визначаються потреби в інформації кожного, тим якісніше вона може бути підготовлена, тим більш кваліфікованими можуть бути управлінські рішення, прийняті на її основі. Тому будь-яка робота зі створення інформації починається з визначення потреб у ній, і тільки після цього починається опрацювання необхідних даних і створення потрібної інформації.

До інформації висувають такі основні вимоги:

– ***точність*** (забезпечення однозначного сприйняття всіма споживачами);

– **достовірність** (визначення припустимого рівня можливого спотворення як вхідних даних, так і результуючої інформації в цілому);

– **оперативність** – для забезпечення своєчасності прийняття рішень. Тільки вчасно отримана інформація може принести необхідну користь. Неактуальною інформація може бути з двох причин: вона може бути застарілою (торішня газета) або незначною, непотрібною (наприклад, повідомлення про те, що в Гондурасі на 5 % знижені ціни на банани);

– **повнота** (якщо її достатньо для розуміння і прийняття рішення);

– **корисність** (оцінюється завданнями, які можна вирішити за її допомогою).

Будь-які неточності й похибки в інформації можуть призвести до дезорієнтації і неправильних дій. Тому при створенні будь-якої ІС особлива увага повинна приділятися забезпеченню високої точності та достовірності інформації, а це, у свою чергу, залежить від правильності первинних даних, на яких ґрунтується інформація.

Інформація про предмети, явища може бути представлена в різних формах (текст у газеті, радіоповідомлення, умовна картинка в календарі або на екрані телевізора, умовні жести та звуки тощо).

Інформацію можна класифікувати:

– **за функціями в процесі управління**. За цим критерієм інформацію поділяють на чотири підгрупи:

- **фактичну** (характеризує процеси і явища, які вже відбулися (здійснилися));

- **планову** (описує ті процеси і явища, які повинні відбутися за певний проміжок часу);

- **нормативну** (інформація, яка регламентує явища та процеси, що відбуваються в навколишньому світі);

- **довідково-табличну** (інформація, яка надає докладні характеристики досліджуваних об'єктів, процесів і явищ);

– **за відношенням до системи**. Тут розрізняють вісім підгруп:

- **внутрішня** (надходить до апарату управління від власних структурних підрозділів);

- **зовнішня** (надходить від інших підприємств і організацій);

- **вхідна** (інформація, що надходить до об'єкта управління);

- **вихідна** (інформація, що виробляється і виходить з об'єкта управління);

- **активна** (інформація, що використовується в процесі управління);

- **пасивна** (інформація, що не використовується в процесі управління);

- **оперативна** (інформація, що характеризує стан об'єкта на даний проміжок часу);

- **поточна** (інформація, що описує процес управління протягом деякого проміжку часу);

– за *ступенем стабільності* інформацію поділяють на дві основні підгрупи:

- *умовно-постійну* (інформація, яка не змінюється протягом тривалого періоду);
- *змінно-перемінну* (інформація, яка протягом тривалого періоду зазнає певних зміни).

1.2. Інформаційні системи, їх класифікація та складові

Інформаційна система (ІС) – це комплекс методів і засобів збору, накопичення, збереження, обробки, аналізу даних для отримання інформації, корисної для прийняття рішень.

Класифікувати ІС можна за різними характеристиками, наприклад, за функціональною ознакою, за рівнем управління, за характером використання інформації, за сферою застосування, за способом організації, за ступенем автоматизації тощо.

Класифікація ІС за функціональною ознакою представлена на рис. 1.3.

Класифікація ІС за рівнем управління виділяє:

- ІС оперативного (операційного) рівня – бухгалтерські, банківських депозитів, обробки замовлень, реєстрації квитків, виплати зарплати тощо;
- ІС фахівців – офісна автоматизація, обробка знань (включаючи експертні системи);
- ІС тактичного рівня (середня ланка) – моніторинг, адміністрування, контроль, прийняття рішень;
- ІС стратегічного рівня – формулювання цілей, стратегічне планування.

ІС оперативного (операційного) рівня підтримує фахівців-виконавців, опрацьовуючи дані про угоди й події (рахунки, накладні, зарплату, кредити, потік сировини й матеріалів). Призначення ІС цього рівня – відповідати на запити про поточний стан і відслідковувати потік операцій на підприємстві (фірмі) в процесі оперативного управління. Щоб з цим справлятися, ІС повинна бути доступною, безперервно діючою й надавати точну інформацію.

Задачі, цілі та джерела інформації на оперативному рівні заздалегідь визначені та в значній мірі структуровані. Розв'язок задачі при цьому запрограмований за певним алгоритмом.

ІС оперативного рівня є сполучною ланкою між підприємством й зовнішнім середовищем.

Якщо система працює неефективно, то організація або не отримує інформації ззовні, або не видає інформацію. Крім того, система – це основний постачальник інформації для інших типів ІС в організації, оскільки містить як оперативну, так і архівну інформацію.



Рис. 1.3. Класифікація ІС за функціональною ознакою

ІС фахівців допомагають спеціалістам, які працюють із даними, підвищують їх продуктивність і продуктивність роботи. Задача подібних ІС – інтеграція нових відомостей у організацію та допомога в обробці паперових документів.

ІС офісної автоматизації внаслідок своєї простоти та багатoproфільності активно використовуються працівниками будь-якого організаційного рівня. Найчастіше їх застосовують працівники середньої кваліфікації: бухгалтери, секретарі, чиновники, оператори. Основною метою є обробка даних, підвищення ефективності їх роботи та спрощення рутинної праці. ІС офісної автоматизації зв'язують воедино працівників інформаційної сфери у різних регіонах і допомагають підтримувати зв'язок з покупцями, замовниками й іншими організаціями. Їх діяльність, головним чином, охоплює управління документацією, комунікаціями, складанням розкладів тощо.

Ці системи виконують функції:

- обробка текстів на комп'ютерах за допомогою різних текстових процесорів (редакторів);
- виготовлення високоякісної друкованої продукції;
- архівація документів;
- розробка електронних календарів та записних книжок для ведення ділової інформації;
- ведення аудіо- й електронної пошти;
- проведення відео- і телеконференцій.

ІС обробки знань, у тому числі й експертні системи, вбирають у себе знання, необхідні інженерам, юристам, ученим при розробці або створенні нового продукту. Їх робота полягає в створенні нової інформації та нових знань. Так, наприклад, існуючі спеціалізовані робочі станції з інженерного і наукового проектування дозволяють забезпечити високий рівень технічних розробок.

ІС тактичного рівня (середня ланка). Основним призначенням таких систем є:

- порівняння поточних показників з минулими показниками;
- складання періодичних звітів за певний час (а не видача звітів за поточними подіями, як на оперативному рівні);
- забезпечення доступу до архівної інформації тощо.

Системи підтримки прийняття рішень (СППР) обслуговують частково структуровані задачі, результати яких важко спрогнозувати заздалегідь (мають більш потужний аналітичний апарат з декількома моделями). Інформацію отримують з управлінських і операційних ІС.

Ці системи використовують менеджери, фахівці, аналітики, керівники та ін.

СППР забезпечують розв'язання проблем, розвиток яких важко прогнозувати. Зазвичай СППР мають у своєму арсеналі складні інструментальні

засоби моделювання й аналізу, дозволяють легко змінювати постановки розв'язуваних задач і вхідні дані, відрізняються гнучкістю та легко адаптуються до змін умов декілька разів на добу, мають технологію, максимально орієнтовану на користувача.

ІС стратегічного рівня. Розвиток і успіх будь-яких організацій (фірм) багато в чому визначаються їх стратегією. Під стратегією розуміють набір методів і засобів розв'язання перспективних довгострокових задач. У цьому контексті необхідно сприймати й поняття "*стратегічний метод*", "*стратегічний засіб*", "*стратегічна система*".

Стратегічна ІС – комп'ютерна ІС, яка забезпечує підтримку прийняття рішень із реалізації перспективних стратегічних цілей розвитку організації.

Класифікація ІС за характером використання інформації передбачає поділ ІС на:

- *інформаційно-пошукові системи*, що забезпечують введення, систематизацію, збереження та видачу інформації на запит користувача без складних перетворень даних (інформаційно-пошукова система в бібліотеці, в залізничних, автобусних та авіакасах);

- *інформаційно-лічильні системи*, які здійснюють усі операції опрацювання інформації за певним алгоритмом. Серед них виділяють керуючі та поради системи, що відрізняються рівнем впливу опрацьованої інформації на процес прийняття рішень;

- *керуючі ІС* виробляють інформацію, на підставі якої особа приймає рішення. Для цих систем характерними є задачі розрахункового типу та обробка великих обсягів даних. Прикладом можуть слугувати система оперативного планування випуску продукції, система бухгалтерського обліку тощо;

- *поради ІС* виробляють інформацію, яка людиною береться до уваги і не перетворюється негайно в серію конкретних дій. Ці системи володіють більш високим ступенем інтелекту, оскільки для них характерна обробка знань, а не даних.

Класифікація ІС за характером застосування інформації дозволяє виділити:

- *ІС організаційного управління*, які призначені для автоматизації функцій управлінського персоналу. Враховуючи найбільш широке застосування та розмаїття цього класу систем, часто будь-які ІС розуміють саме в даному значенні. До цього класу відносять ІС управління як промисловими підприємствами, так і непромисловими об'єктами: готелями, банками, торгівельними фірмами тощо;

- *ІС управління технологічними процесами*, призначенням яких є автоматизація функцій виробничого персоналу. Широко використовуються, наприклад, при організації потокових ліній, виготовленні мікросхем, у

процесі складальних операцій, для підтримки технологічного процесу в металургійній і машинобудівній галузях;

- *ІС автоматизованого проектування*, призначенням яких є автоматизація праці інженерів-проектувальників, конструкторів, архітекторів, дизайнерів у процесі створення нової техніки або технології. Основними функціями подібних систем є інженерні розрахунки, створення графічної документації (креслень, схем, планів), створення проектної документації, моделювання проєктованих об'єктів тощо;

- *Інтегровані (корпоративні) ІС*, які використовуються для автоматизації всіх функцій підприємства й охоплюють увесь цикл робіт від проектування до збуту продукції. Створення таких систем процес досить складний, оскільки вимагає системного підходу з позицій головної цілі, наприклад, отримання прибутку, завоювання ринку збуту тощо. Такий підхід може привести до істотних змін у самій структурі фірми, на що може зважитися не кожний керуючий або менеджер.

Класифікація ІС за способом організації виділяє:

- системи на основі архітектури "файл-сервер";
- системи на основі архітектури "клієнт-сервер";
- системи на основі багаторівневої архітектури;
- системи на основі інтернет / інтранет-технологій.

Класифікація ІС за ступенем автоматизації дозволяє виділити:

- *ручні* – всі операції зі збору інформації, зберігання, аналізу й подання інформації виконуються людиною вручну, без допомоги будь-яких обчислювальних пристроїв;

- *автоматичні* – функціонують без втручання людини;

- *автоматизовані* – частину функцій виконує людина, частину – комп'ютер.

Надалі ми будемо розглядати, головним чином, автоматизовані ІС, оскільки вони знайшли найбільш широке застосування.

За напрямом діяльності розрізняють такі автоматизовані ІС:

- виробничі;
- адміністративні (людських ресурсів);
- фінансові та облікові;
- маркетингу.

Виробничі системи поділяються на:

- автоматизовані системи управління виробництвом;
- автоматизовані системи управління технологічними процесами;
- автоматизовані системи управління технічними засобами.

Класичними прикладами автоматизованих ІС обробки даних є: ІС управління підприємством; банківські ІС; бібліотечні ІС; автоматизовані системи управління польотами в авіації; автоматизовані системи обробки

аерокосмічних зображень і багато інших ІС, які обслуговують державні заклади та приватні фірми.

Класифікація ІС за ознакою вирішуваних задач представлена на рис. 1.4.

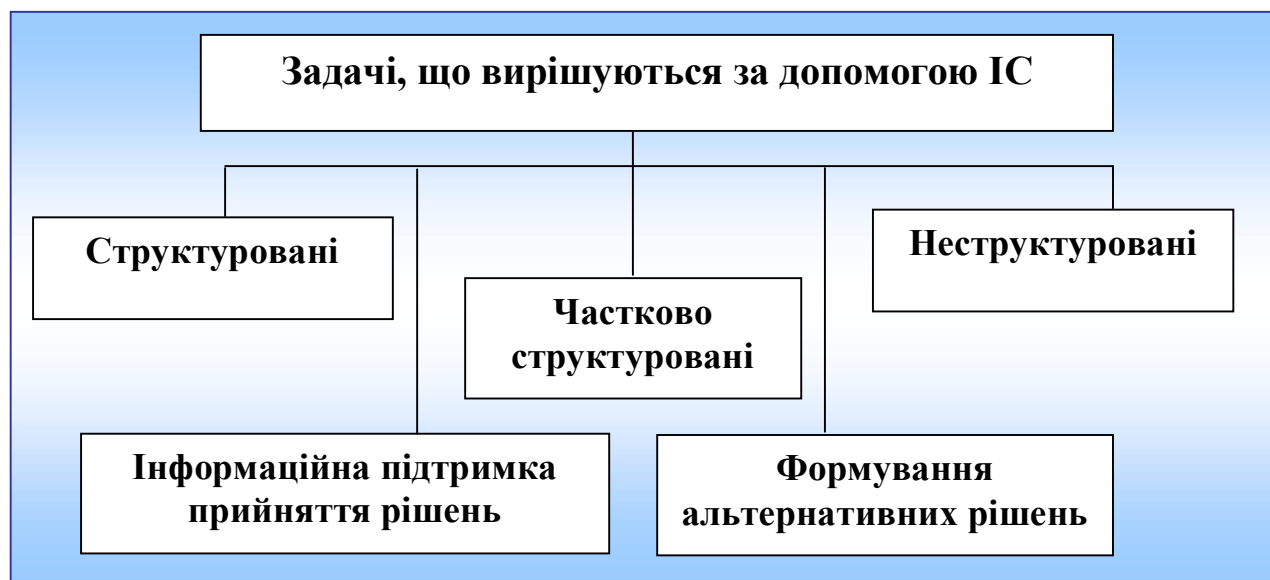


Рис. 1.4. Класифікація задач, що вирішуються за допомогою ІС

Структурована задача, тобто та, яку можна формалізувати, представляє задачу, для розв'язку якої відомі всі її елементи та взаємозв'язки між ними. В структурованій задачі є можливість виразити її зміст у формі математичної моделі, що мають точний алгоритм розв'язку. Метою використання інформаційної системи в процесі реалізації структурованих задач є повна автоматизація їх розв'язку, тобто зведення ролі людини до мінімуму.

Неструктурованою (неформалізованою) задачею є задача, в якій неможливо виділити елементи та встановити зв'язки між ними.

Розв'язок неструктурованих задач пов'язаний із великими складнощами створення математичного опису і розробки алгоритму досягнення мети. Сфера застосування ІС у цих умовах незначна. Для розв'язку таких задач використовуються спеціальні системи, що ґрунтуються не на інформації, а на базах знань.

Останнім часом необхідність одержання оперативної та кваліфікованої експертної оцінки в різних прикладних областях зростає. Розв'язати цю проблему можна за допомогою методів напрямку, що розвивається в інформатиці, заснованого на *штучному інтелекті*. Істотний результат у цій сфері досягнутий в процесі створення *експертних систем*.

Штучний інтелект представляє собою розділ інформатики, що включає розробку методів моделювання та відтворення окремих функцій діяльності людини за допомогою персонального комп'ютера.

Експертна система (ЕС) – це складні програмні комплекси, що акумулюють знання фахівців у конкретних предметних сферах і які тиражують цей емпіричний досвід для консультацій менш кваліфікованих користувачів. Такі системи призначені для вирішення практичних задач, що виникають у частково структурованій предметній сфері, яка важко формалізується. Експертна система дозволяє на підставі наявних і надаваних користувачем фактів розпізнати ситуацію, поставити діагноз, сформулювати рішення або дати рекомендації користувачам щодо досягнення поставленої мети.

База знань є складовим елементом експертних систем і включає набір фактів і правил, які забезпечують накопичення досвіду фахівців у конкретній предметній сфері з метою пошуку відповідей на питання, які в явному вигляді не містяться в базах даних.

Як свідчить практика, структуровані та неструктуровані задачі зустрічаються доволі рідко [85]. У більшості випадків відома лише певна частина елементів і зв'язків між ними. Подібні задачі називаються частково структурованими, для їх розв'язку надається можливість застосування ІС, у якій генерована інформація аналізується оператором. Такі ІС є автоматизованими, оскільки в їх функціонуванні істотна роль відводиться людині. Яскравим прикладом задач зазначеного типу є прийняття рішень з усунення ситуації, коли розрахункова потреба в трудових ресурсах для своєчасного виконання комплексу робіт перевищує їх наявність. При цьому можливі два основних варіанта:

- виділення додаткового фінансування на збільшення кількості працюючих;
- перенесення термінів здачі робіт на більш пізню дату.

У такій ситуації ІС може допомогти фахівцю прийняти те або інше рішення, оскільки надає інформацію про позитивні та негативні наслідки, що будуть притаманні кожному варіантові.

ІС, що використовують принцип "зворотного зв'язку" і які застосовуються для розв'язку частково структурованих задач, поділяються на такі:

- що створюють управлінські звіти;
- що орієнтуються на обробку даних (пошук, сортування, агрегування, фільтрацію).

Використовуючи відомості, що містяться в цих звітах, оператор отримує інформаційну підтримку в процесі прийняття конкретного рішення, які надають можливість розробити альтернативні шляхи розв'язку задач відповідно до конкретної ситуації. Дії оператора при цьому зводяться до вибору однієї із запропонованих системою альтернатив.

ІС забезпечують доступ користувачів до інформації, що міститься в базах даних, і її опрацювання. Процедури взаємодії оператора з даними в таких ІС повинні забезпечувати:

- складання комбінацій даних, отримуваних з різних джерел;

- оперативне додавання або виключення того або іншого джерела даних, а також автоматичне підключення джерел при пошуку даних;
- маніпулювання даними з використанням можливостей СКБД;
- логічну незалежність даних, що входять у підсистему інформаційного забезпечення;
- автоматичне відстеження потоку інформації для заповнення баз даних.

Коло, що вирішуються за допомогою ІС задач, достатньо велике. Сюди можна також включити задачі підвищення продуктивності праці інженерів і проєктувальників, систематизації графічної й атрибутивної інформації про об'єкти місцевості, покращення ергономічних характеристик робочого місця тощо.

ІС зазвичай створюються у вигляді робочих станцій або офісних систем. Окремо можна виділити групу ІС, які призначені для автоматизації обробки даних. Такі системи (в тому числі й експертні) включають у себе відомості, необхідні в процесі розробки або прийняття альтернативних рішень [85].

1.3. Компоненти інформаційних систем

Інформаційна система в елементарній формі – це система запитів-відповідей для множини даних, яка передбачає таку послідовність операцій: отримання даних, їх аналіз і використання для прийняття рішень.

За функціональним складом будь-яку ІС можна представити у вигляді чотирьох підсистем (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Складові компоненти інформаційної системи

ІС включають декілька головних компонентів, незалежно від сфери їх практичного застосування.

Інформаційне забезпечення (ІЗ) – сукупність методів і засобів для розміщення й організації інформації, які включають системи класифікації, кодування, уніфіковані системи документації, методи створення внутрішньомашинної інформаційної бази ІС.

Саме ІЗ поєднує компоненти (програмне забезпечення, апаратне забезпечення, персонал тощо) в єдину систему і надає їй можливість функціонувати в умовах змінного зовнішнього середовища. Забезпечення раціональної загальносистемної технології в складних ІС потребує аналізу великої кількості варіантів.

Програмне забезпечення (ПЗ) – сукупність програмних засобів для створення й експлуатації ІС засобами обчислювальної техніки. Це один із основних і найбільш коштовних компонентів ІС, який характеризується складністю та трудомісткістю розробки, необхідністю висококваліфікованих кадрів для його створення. Від якості ПЗ залежить функціонування всієї системи.

ПЗ включає в себе:

– **системне ПЗ** – для забезпечення взаємодії людини з комп'ютером, здійснення базових операцій введення-виведення інформації та її резервування;

– **комунікаційне ПЗ** – для забезпечення користувачів ІС засобами обміну інформацією, колективного використання всіх ресурсів (апаратних, програмних, інформаційних);

– **прикладне ПЗ** – для розв'язку різноманітних завдань у конкретній предметній сфері. Існує вузькоспеціалізоване програмне забезпечення (бухгалтерське, економічного аналізу, технологічне тощо) і призначене для широкого застосування в різних галузях (текстові процесори, електронні таблиці, бази даних тощо).

Апаратне забезпечення – комплекс технічних засобів, що застосовуються для функціонування інформаційної системи. Включає в себе весь перелік технічних засобів: для збору інформації; введення й обробки інформації в електронно-обчислювальній машині (ЕОМ); внутрішні та периферійні засоби телекомунікації; засоби візуалізації, які комплектуються з урахуванням специфіки предметної галузі, змісту та способів використання відомостей, що отримуються і зберігаються в системі тощо.

Правове забезпечення – сукупність правових норм, що регламентують створення та функціонування ІС.

Лінгвістичне забезпечення – сукупність мовних засобів, які використовуються на різних стадіях створення й експлуатації ІС для підвищення ефективності розробки та забезпечення спілкування людини і ЕОМ.

1.4. Поняття про геоінформатику та географічні інформаційні системи

Геоінформатика – галузь науки і техніки, яка відображає та вивчає природні й соціально-економічні геосистеми, їх взаємодію та розвиток за допомогою комп'ютерного моделювання на основі інформаційних систем і технологій, баз даних і баз знань.

Термін "геоінформатика" складається з трьох слів: *географія, інформація й автоматика*, що вказує на три основних джерела і три складові частини наукової дисципліни. Хоча сьогодні є всі підстави вважати, що геоінформатика ближче до інформатики, ніж, наприклад, до географії. Геоінформатика оперує сучасними концепціями інформатики і переносить їх у прикладні сфери.

Геоінформатика вивчає принципи, техніку й технологію одержання, накопичення, передачі, обробки та подання даних і є засобом отримання на їх основі нової інформації і знань про просторово-часові явища, процеси, об'єкти. Іншими словами, геоінформатика – наукова дисципліна, підрозділ інформатики, предметом якої є інформація, що має просторову прив'язку (географічно координовані дані).

Предметом геоінформатики є безліч просторово-часових інформаційних потоків, що охоплює інформацію про географічне, геологічне і космічне середовища (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Предмет і методи геоінформатики:

БД – бази даних; ММ – математичні моделі; ІМ – імітаційні моделі;
БЗ – бази знань; КМ – картографічні моделі; ФМ – фотометричні моделі;
МШІ – моделі штучного інтелекту

Геоінформатика інтегрувала в собі теорію, методи й традиції класичної картографії та географії з можливостями й апаратом прикладної математики, інформатики і комп'ютерної техніки. Поєднання цих наук отримало назву "геоматика"² [1]. Геоматика займається розв'язком необхідних прикладних задач з можливостями людини, обчислювальної техніки й програмних засобів, які опрацьовують географічну (просторову) інформацію й передають її споживачам на екран монітора, друкувальний пристрій або на канали зв'язку.

Своїм виникненням геоінформатика зобов'язана розвитку фундаментальних наук ХХ століття – кібернетики, теорії інформації, загальній теорії систем, прикладній інформатиці, глобальному моделюванню, енергетиці, оптимології та низки інших, що стали основою нового напрямку.

Саме геоінформатика надає можливість, з одного боку, об'єднати різні науки про Землю, а з іншого – забезпечити їх взаємозв'язок з іншими науками як природного, так і гуманітарного напрямів.

У прикладних задачах ГІС виступають здебільшого як засіб прийняття рішень, а в наукових дослідженнях ГІС виступають як системи, потенційно спрямовані на одержання нових знань і наукових даних.

ГІС – це підклас інформаційних систем. Зв'язок базових знань інформатики та геоінформатики представлений у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

***Зв'язок базових знань інформатики
з основними поняттями геоінформатики***

Базові поняття інформатики	Базові поняття геоінформатики
Інформація	Геоінформація
Інформаційна система	Геоінформаційна система
Інформаційні технології	Геоінформаційні технології

Інформація є об'єктом наукової дисципліни інформатики, яка з'явилася з надр іншої, більш загальної дисципліни – кібернетики (рис. 1.7).

²**Геоматика** (англ. *geomatics*). Термін був започаткований у Канаді для опису видів діяльності з інтеграції всіх засобів збору та управління просторовими даними для наукових, адміністративних і технічних операцій, пов'язаних із виробництвом та управлінням просторовою інформацією. Використовується як синонім геоінформатики, або геоінформаційного картографування.



Рис. 1.7. Формування геоінформаційної системи

Кібернетика³ (від грец. *Kybernetike* – мистецтво управління, від грец. *Kybernao* – правлю рулем, керую, від грец. *Χοβερρω* – керманич) – наука про загальні закономірності процесів управління й передачі інформації в машинах, живих організмах та суспільстві.

Інформатика – це галузь науки, яка вивчає структуру і загальні властивості інформації, а також питання, пов'язані з її збором, збереженням, пошуком, переробкою, перетворенням, поширенням і використанням у різноманітних сферах діяльності.

Об'єктом інформатики є інформація.

ГІС є підкласом ІС, які мають свої особливості. Вони будуються з урахуванням закономірностей геоінформатики і методів, що застосовуються в цій науці. Частина "geo" в назві ГІС визначає об'єкт досліджень, а не предметну галузь дослідження цих систем, тому ГІС – це не ІС для географії, це – ІС з географічною (просторовою) організацією інформації.

У Національному стандарті України ДСТУ ISO 19101:2002 дається таке визначення: **"Географічна інформація (Geographic Information) – інформація про об'єкти та явища, які безпосередньо або опосередковано пов'язані з певним місцеположенням відносно Землі"** [55].

Іншими словами, географічна інформація – це інформація про об'єкти, системи об'єктів, явища й процеси реального світу, що мають або можуть мати просторову прив'язку в реальному просторі Землі.

³Термін "кібернетика" в сучасному розумінні – наука про загальні закономірності процесів управління та передачі інформації в машинах, живих організмах і суспільстві вперше був запропонований Норбертом Вінером у 1948 р.

У праці [56] наводиться таке пояснення: "... *географічна інформація – це інформація про ділянки поверхні Землі, знання відносно того, де знаходиться щось, знання відносно того, що є у даному місці. Географічна інформація має відношення до Землі, її двовимірній поверхні, її тривимірного простору*".

1.5. Поняття про геодані

Будь-який конкретний або абстрактний об'єкт реального світу, який може бути визначений однозначним змістом і межами й описаний в ГІС у вигляді набору геоданих, має назву *реального просторового об'єкта* (Spatial Entity Object) або *географічного об'єкта* (Geographic Entity).

Географічні об'єкти в ГІС подаються як набір просторових і атрибутивних даних із загальною назвою *географічні дані* (Geographic data).

Географічні дані – це дані, які описують певну частину поверхні Землі або об'єкти, що знаходяться на цій поверхні. Вони показують об'єкти з точки зору розташування їх на поверхні Землі, тобто представляють собою географічну карту місцевості.

Просторові дані – це дані про місце розташування об'єктів або поширенню явищ, які представлені в певній системі координат у словесному або числовому опису.

Приклади географічних і просторових даних наведені на рис. 1.8.

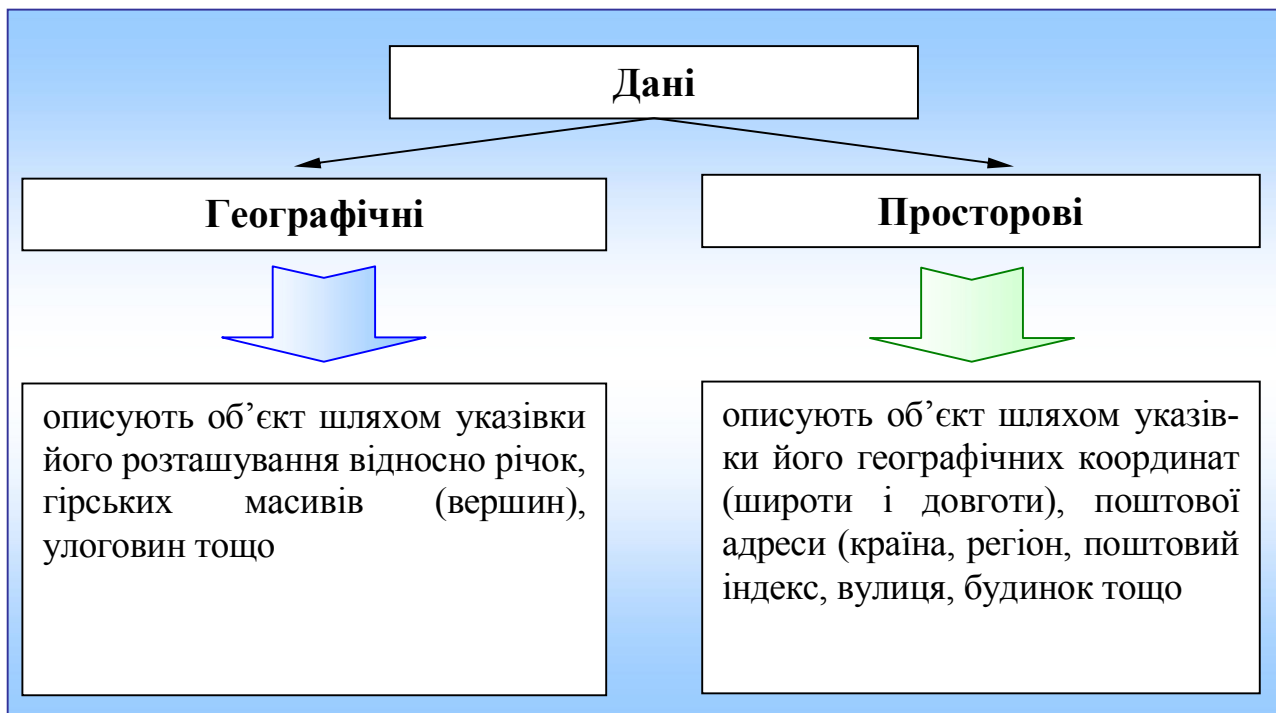


Рис. 1.8. Приклади географічних і просторових даних



Рис. 1.9. Компоненти (складові) географічних даних

Географічні дані (геодані) містять чотири інтегрованих компоненти (рис. 1.9):

– **географічне положення** (розміщення) просторових об'єктів подається 2-х, 3-х або 4-мірними координатами в географічно співвіднесений системі координат (широта / довгота);

– **атрибути (семантичні дані)** – властивість, якісна або кількісна ознака, яка характеризує просторовий об'єкт, але не пов'язана з його місцем розташування;

– **просторові відношення** – внутрішні взаємовідношення між просторовими об'єктами (наприклад, напрямок об'єкта *A* щодо об'єкта *B*, відстань між об'єктами *A* і *B*, вкладеність об'єкта *A* в об'єкт *B* тощо);

– **часові характеристики** подаються в вигляді строків одержання даних, визначають їх життєвий цикл (строків придатності або достовірності), зміну місця розташування або властивостей просторових об'єктів у часі.

Геодані – це дані про локальні просторові властивості: місце розташування, форму, розміри та просторові відношення географічних об'єктів, явищ, процесів у реальному земному просторі.

До них відносяться:

- географічна широта та довгота;
- прямокутні координати;
- поштові адреси; поштові індекси й інші коди, які ідентифікують попередньо поділені ділянки території;
- місцеположення, зафіксоване на карті або в просторі.

За змістовністю геодані поділяються на *базисні (координатні)* та *спеціальні (тематичні, атрибутивні)*.

Просторові характеристики визначають положення об'єкта в заздалегідь визначеній системі координат. Координатна компонента характеризує місце розташування, форму, розміри, просторові відношення об'єктів дослідження в ГІС.

Традиційно пов'язують просторовий опис із координатними системами. Такий тип даних отримав назву *позиційного*, оскільки він відображає ту частину інформації про об'єкти, яка визначає їх місце розташування (позицію) на земній поверхні або в певній системі координат. Основною вимогою до просторового опису є точність відображення.

Положення або розміщення просторових об'єктів визначається *відносно (топологічно) або абсолютно*.

Відносне положення може задаватися в локальній системі координат або за допомогою коду, який визначає належність об'єкта до тієї або іншої групи (підмножини) об'єктів. Така група об'єктів може співвідноситися з певним територіальним утворенням, наприклад, суб'єктом держави або адміністративним районом.

Геодані можна пов'язувати між собою в топологічні відношення, що дає можливість при використанні ГС та ГПТ отримувати нові відомості.

Абсолютне положення може задаватися в локальній системі координат або за допомогою системи координат, єдиній для всіх об'єктів.

Атрибутивні (семантичні) дані – це дані, якими описується змістозна, значеннєва інформація про географічні об'єкти, властивості географічних об'єктів.

Атрибути поділяються на *внутрішні* та *зовнішні*. До внутрішніх атрибутів відносять ідентифікатори (унікальні мітки) масивів даних, а також опис топології просторових об'єктів. Зовнішні атрибути – це інформація, яка зазвичай міститься в легенді карти, наприклад, для гіпсометричної карти – це шкала висот, для карти ґрунтів – виділені на ній ґрунтові різновиди, для ландшафтної карти – морфологічні або інші одиниці ландшафту тощо.

Тематичний аспект (тема) обумовлений наявністю ознак певної тематики або предметної сфери. Це можуть бути економічні, статистичні, технічні, організаційні, управлінські та інші типи даних.

Основною вимогою до тематичних даних є "повнота", яка означає, що цих даних достатньо для вирішення практичних задач і немає необхідності проводити додатковий збір даних.

Властивість – це категорія, яка обумовлює відмінність або спільність об'єкта з іншими об'єктами і виявляє себе при зіставленні різних об'єктів.

За обробкою виділяють такі геодані:

- геометричні (положення та форма об'єктів);
- топологічні (просторові зв'язки між об'єктами);
- графічні (сигнатура, колір, відображення);
- метадані (алфавітно-цифрові дані опису семантики).

1.6. Задачі геоінформатики

Геоінформатика – це наука, яка вивчає інформаційні процеси, що відбуваються у природі, суспільстві, свідомості з метою розкриття сутності чотирьох великих феноменів дійсності – Космосу, Землі, Життя і Людини у їх нерозривному зв'язку.

Головною задачею геоінформатики є дослідження та використання просторових відношень. Згідно з міжнародним стандартом ISO OSI/TC 211: Geographic Information / Geomatics, International Draft Standart, геоінформатика спрямована на розвиток і застосування методів та концепцій інформатики для дослідження просторових об'єктів і явищ на підставі просторових відношень.

Задачами геоінформатики є вивчення загальних властивостей геоінформації, закономірностей і методів її отримання, фіксації, накопичення, обробки й використання, а також розвиток теорії, методології і технологій створення ГІС з метою збору, систематизації, збереження, аналізу, перетворення, відображення й поширення просторово-координованих даних.

1.7. Визначення ГІС

Геоінформатика – наука з яскраво вираженим міждисциплінарним характером, яка інтегрує різні технології та предметні сфери. Це є причиною розбіжностей у термінології залежно від кола вирішуваних задач, тому її досить важко "утиснути" в оболонку дефініції. Саме тому й існує велика кількість визначень ГІС. Найбільш просте і примітивне, яке використовується зазвичай математиками і програмістами: **"ГІС – це просторово-орієнтована база даних"**.

На перший погляд, так воно і є: ядром будь-якої ГІС є база даних, що, на відміну від інших баз даних, має географічну (просторову) прив'язку. Однак у цьому визначенні явно переважає "машинно-програмний" підхід до ГІС. Тут втрачається головна перевага ГІС над іншими ІС і базами даних: можливість просторового аналізу та створення за результатами аналізу принципово нових моделей навколишнього середовища. Більш точні визначення наведені нижче.

"ГІС – це комплекс апаратно-програмних засобів і діяльності людини зі збереження, маніпулювання та відображення географічних (просторово-співвіднесених) даних" [Abler R. The National Science Foundation National Center for Geographic Information and Analysis / R. Abler // Int. J. of Geographical Information Systems. – 1987. – V. 1, № 4. – Pp. 302–306].

"ГІС – це внутрішньо позиціонована автоматизована просторова інформаційна система, що створюється для управління даними, їх картографічного відображення й аналізу" [Berry J. Fundamental operations in computer-assisted map analysis / J. Berry // International Journal of Geographical Information Systems. – 1987. – V. 1. – Pp. 119–136].

"ГІС – це особливий випадок інформаційної системи, де база даних складається зі спостережень за просторово розподіленими явищами, процесами або подіями, які можуть бути визначені точкою, лінією або полігоном (контуром)" [Clarce K. C. Geographic information systems: definitions and prospects / K. C. Clarce // Bull. Geogr. and Map Div. Spec. Libr. Assoc. – 1985. – № 142. – Pp. 12–17].

"ГІС – це динамічно організована множина даних (динамічна база даних або банк даних), поєднана з множиною моделей, реалізованих на ЕОМ для розрахункових, графічних і картографічних перетворень цих даних у просторову інформацію з метою задоволення специфічних потреб певних користувачів у межах структури точно визначених концепцій і технологій" [Degani A. Methodological observation on the state of geocartographic analysis in the context of automated spatial information systems / A. Degani. – Map Data Process. – Proc. NATO Adv. Study Inst. Maratea, June 18–29, 1979, Acad. Press. 1980. – Pp. 207–220].

"ГІС – це система, що складається з людей, а також технічних і організаційних засобів, які здійснюють збір, передачу, введення й обробку даних з метою вироблення інформації, зручної для подальшого використання в географічному дослідженні і для її практичного застосування" [Konecny M. Geograficke informacni systemy / M. Konecny // Folia prirodoved. fak. UJEP v Brne. – 1985. – T. 26, № 13. – 196 s.]

"ГІС – це апаратно-програмний людино-машинний комплекс, який забезпечує збір, обробку, відображення та поширення просторово-координованих даних, інтеграцію даних і знань про території для їх ефективного використання при вирішенні наукових і прикладних географічних задач, пов'язаних з інвентаризацією, аналізом, моделюванням, прогнозуванням й управлінням навколишнього середовища та територіальною організацією суспільства" [Кошкарев А. В. Картография и геоинформатика: пути взаимодействия / А. В. Кошкарев // Изв. АН СССР. Сер. геогр. – 1990. – № 1. – С. 32].

"ГІС – це така система, до складу якої входять компоненти для збору, передачі, збереження, обробки й видачі інформації про території" [Langeforce B. Theoretical Analysis of Information Systems / B. Langeforce. – Lund, 1966].

"ГІС – це система, що включає базу даних, апаратуру, спеціалізоване математичне забезпечення і пакети програм, призначених для розширення бази даних, для маніпулювання даними, їх візуалізації у

вигляді карт або таблиць і, в решті-решт, для прийняття рішень про той або інший варіант господарської діяльності" [Lillesand T. M. Remote sensing and image interpretation / T. M. Lillesand, R. W. Liefer. – N. Y. : John Willey and Sons, 1987. – 722 p.].

"ГІС – це система, спроектована для збору, збереження, маніпулювання, пошуку й відображення географічно визначених даних" [MacDonald C. L. Applied computer graphics in a geographic information system: problems and successes / C. L. MacDonald, I. K. Grain // Computer graphics and application. – 1985. – Vol. 5, № 10. – Pp. 34–39].

"ГІС – це система, яка маніпулює і керує даними, що зберігаються у вигляді тематичних шарів, географічно визначених щодо картоснови" [Reisinger T. W. A map-based decision support system for operational planning of timber harvests / T. W. Reisinger, C. J. Davis // Winter Meet. Amer. Soc. Agr. Eng., Ayatt Regency (Chicago, 1985, – December 17–20, Paper № 1604. – St. Joseph : ASAE, 1985. – 12 p.].

"ГІС – це науково-технічні комплекси автоматизованого збору, систематизації, переробки та представлення (видачі) геоінформації у новій якості за умови приросту знань про досліджувані просторові системи" [Сербенюк С. Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / С. Н. Сербенюк. – М., 1990. – 159 с.].

"ГІС – це просторово визначена система для збору, збереження, пошуку та маніпулювання даними".

"ГІС – це засіб аналізу й управління просторово визначеними даними" [Star J. L. Geographic information systems: question to ask before it's too late – Machine Processing of Remotely sensed Data with Special emphasis on Thematic Mapper Data and Geographic Information Systems / J. L. Star, M. J. Cosentino, T. W. Foresman. – 1984. – Pp. 194–197].

"ГІС – це інтерактивні системи, які здатні реалізувати збір, систематизацію, збереження, обробку, оцінку, відображення й поширення даних і є засобом отримання на їх основі нової інформації та знань про просторово-часові явища" [Тикунов В. С. Современные средства исследования системы "общество – природная среда" / В. С. Тикунов // Известия Всесоюзн. географич. Общества. – 1989. – Т. 121. – Вып. 4. – С. 299–306].

"ГІС – це реалізоване за допомогою автоматичних засобів (ЕОМ) сховище системи знань про територіальний аспект взаємодії природи й суспільства, а також програмного забезпечення, яке моделює функції пошуку, введення, моделювання тощо" [Трофимов А. М. Геоинформационные системы и проблемы управления окружающей средой / А. М. Трофимов, М. В. Панасюк. – Казань : Казанский ун-т, 1984. – 142 с.].

"ГІС – це інформаційна система, яка може забезпечити введення, маніпулювання й аналіз географічно визначених даних для підтримки

прийняття рішень" [Vitek J. D. Accuracy in geographoc information systems: an assessment of inherent and operational errors. J. D. Vitek, St. J. Walsh, M. S. Gregory // Record 9th Symp. Spat. Technol. Remote Sens. Today and Tomorrow. Sioux Falls, S. D., 2–4 Oct. 1984. – Proc. Liver Spring, 1984. – Pp. 296–302].

Найбільш повне визначення, запропоновано фахівцями Інституту дослідження систем навколишнього середовища (ESRI) у посібнику користувача системи ARC / INFO: **"Географічна інформаційна система – це організований набір апаратних і програмних засобів, географічних даних і персоналу, призначений для ефективного отримання, збереження, відновлення, обробки, аналізу й одержання зображення всіх видів географічно прив'язаної інформації. За допомогою ГІС можуть бути виконані реальні складні просторові операції, які за інших умов були б дуже складними, тривалими в часі або непрактичними"** [Understanding GIS, 1997].

Отже, розробниками ARC / INFO підкреслюється унікальність ГІС як потужного інструменту для просторового аналізу.

Як відзначає Nicholas Chrisman, одне із загальних визначень ГІС було прийнято в результаті консенсусу 30 фахівців: **"Географічна інформаційна система – система обладнання, програмного забезпечення, даних, людей, організацій та інститутських домовленостей для збору, збереження, аналізу й поширення інформації про території Землі"**. Як бачимо, крім апаратного, програмного та інформаційного забезпечення, надається значення й організаційному аспекту ГІС.

Аналіз вищезазначених визначень дозволяє стверджувати, що відмінності між ними не є істотними. Виділимо головне, що притаманне майже для всіх визначень ГІС:

- по-перше, ГІС – це складна багатофункціональна структура, якій характерна внутрішня організація, емерджентність і яка діє як одне ціле;
- по-друге, ГІС – це ІС, тобто система обробки даних, яка володіє засобами накопичення, збереження, поновлення, пошуку та видачі даних;
- по-третє, ГІС здатна опрацьовувати просторову (просторово-розподілену, просторово-координовану, позиційну) інформацію;
- по-четверте, ГІС має у своєму арсеналі специфічні засоби аналізу й моделювання просторових даних.

Отже, можна запропонувати таке визначення ГІС: **"Геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, що створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних"**.

Сполучним елементом для всіх сфер застосування ГІС у різних галузях є відношення інформації до простору. Це відношення проявляється

в можливості виконання користувачем просторових запитів. Відношення до простору полягає в можливості маніпуляцій дво- і тривимірними координатами, отриманими прямим виміром (первинна метрика), або на основі певної семантичної залежності від інших показників (вторинна метрика).

Технологічно, історично та "генетично" геоінформатика формувалася і продовжує розвиватися в оточенні суміжних наук і технологій, предметно і методично родинних їй (рис. 1.10) і на їх інтеграції.

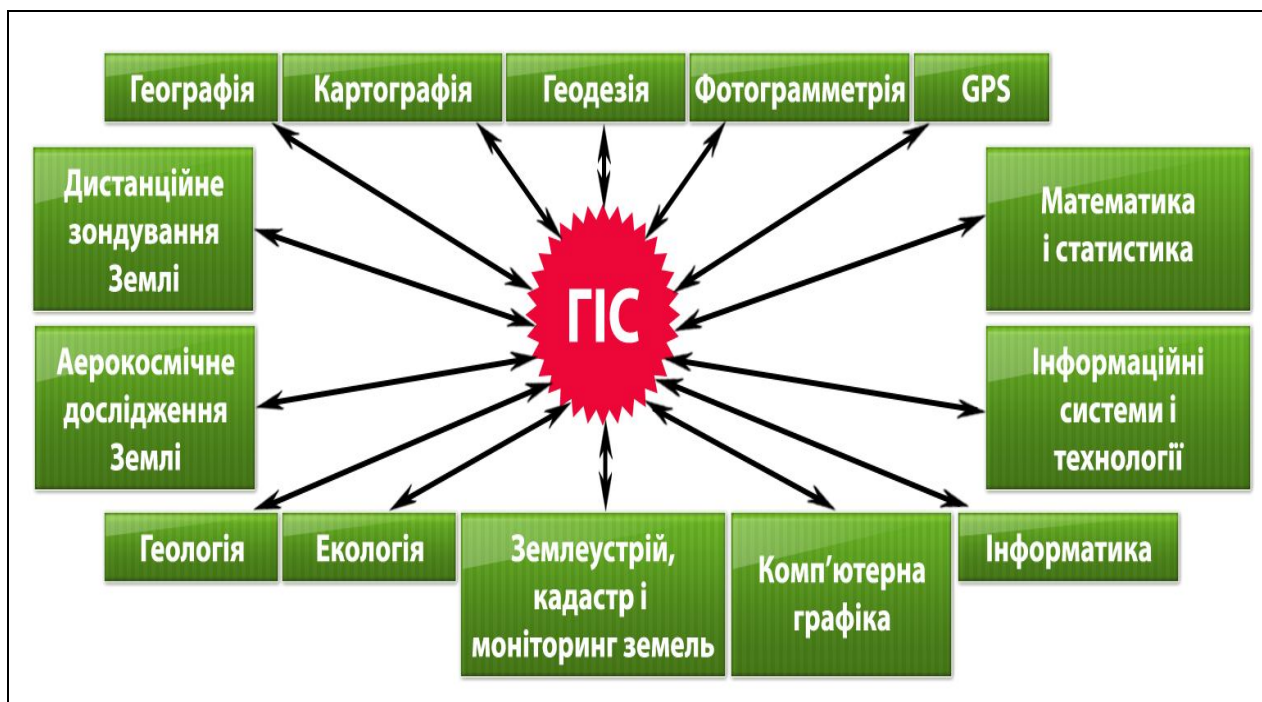


Рис. 1.10. Зв'язок ГІС з іншими дисциплінами

Так, наприклад, *геодезія* забезпечує створення та ведення єдиної територіальної координатно-часової системи, здійснення вимірів геометричних параметрів геопростору й об'єктів, що знаходяться в ньому, розміщення в геопросторі та монтаж по координатах нових об'єктів будівництва і технологічного устаткування, здійснення навігації людей і транспорту по території, контроль просторового стану інженерних споруд та інших об'єктів у процесі їх експлуатації і ще цілу низку робіт. Геодезичні процеси здійснюються безпосередньо на об'єктах діяльності, пов'язані з розміщенням і переміщенням виконавців на території розташування цих об'єктів, тобто з польовими роботами.

Результатом геодезичних робіт є просторово-координована інформація у вигляді координат точок, складальних оригіналів топографічних карт і планів території різної точності та детальності в аналоговій і цифровій формах.

Дистанційне зондування забезпечує одержання просторово-координованої інформації про навколишній простір шляхом дистанційного

знімання території і об'єктів, що знаходяться на ній з носіїв аерокосмічного базування й наступної обробки одержаних даних.

Більшість процесів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) здійснюється в камеральних умовах, ґрунтується на координатно-часовій системі, створеній у процесі геодезичних робіт, і на методах комп'ютерної обробки просторових даних. Результатом ДЗЗ також є просторово-координована інформація у вигляді координат точок, складальних оригіналів карт і планів території різної точності та детальності в аналоговій і цифровій формах.

Картографія забезпечує складання і створення видавничих оригіналів, тиражування карт, планів, атласів різного змісту, призначення, точності, детальності в аналоговій і цифровій формах.

Картографічні процеси здійснюються в камеральних умовах переважно шляхом комп'ютерної обробки просторово-координованих даних, одержаних у процесі геодезичних робіт, ДЗЗ і цифрування карт.

ГІС – забезпечують вивчення, аналіз і моделювання навколишнього світу в просторовому аспекті, оцінку його стану та динаміки, прогнозування розвитку ситуації, вироблення просторових рішень на основі переробки просторово-координованої інформації.

Геоінформаційні процеси здійснюються в камеральних умовах шляхом комп'ютерної обробки просторово-координованих даних.

Результатом геоінформаційної обробки є моделі геопростору різного призначення, предметного змісту, точності та детальності, аналітичні характеристики геопростору, просторові рішення для планування й управління територіями і функціонуючими на них об'єктами життєдіяльності людини, а також для використання природних ресурсів і об'єктів.

Отже, можна зробити висновок, що ГІС – результат інтеграції паралельного розвитку багатьох наукових дисциплін з обробки просторових даних.

Основними складовими геоінформатики є:

1. Загальна геоінформатика.
2. Прикладна геоінформатика.
3. Спеціальна геоінформатика.

Загальна геоінформатика – розділ геоінформатики, що вивчає загальні властивості просторової інформації без конкретизації її змісту, займається дослідженням і розробкою наукових засад, концепцій, узагальненим аналізом безвідносно до її прикладного характеру.

Як загальна інформатика вивчає загальні та універсальні властивості інформації, а не специфічні для конкретної предметної галузі, так і загальна геоінформатика вивчає загальні властивості просторової інформації, незалежно від її конкретного змісту.

Як для загальної інформатики існують специфічні гілки, що розвиваються на її перетинах із конкретними предметними галузями та науковими

дисциплінами, так і в геоінформатиці можна вести мову про існування або можливість появи специфічних гілок – геологічної, археологічної, історичної, екологічної геоінформатики, геоінформатики транспорту тощо.

Прикладна геоінформатика – розділ геоінформатики, що вивчає практичні методи робіт з ГІС і ГІТ.

Спеціальна геоінформатика – розділ геоінформатики, що слугує основою для аналізу систем і методів обробки просторових даних.

Геоінформаційні технології (ГІТ) – сукупність методів і прийомів практичного використання досягнень геоінформатики для маніпулювання просторовими даними, їх подання й аналізу.

1.8. Галузі застосування ГІС

За розрахунками фахівців MapInfo, від 70 % до 90 % інформації, з якою зіштовхується пересічна людина у своєму повсякденному житті, має територіальну (просторову) прив'язку і її обсяг, як свідчить практика, експоненційно зростає. Тому назвати всі галузі застосування ГІС досить складно, головні з них:

- теоретичні й експериментальні дослідження в галузях розвитку наукових і методичних основ геоінформатики;
- розробка технічних засобів збору, реєстрації, збереження, передачі й обробки просторової інформації з використанням обчислювальної техніки;
- створення ГІС різного призначення й типу (довідкові, аналітичні, експертні тощо), просторового охоплення і тематичного змісту;
- розробка та створення баз і банків даних у різних галузях і предметних сферах, а також систем керування базами просторових даних;
- розробка баз знань у різних галузях;
- розробка математичних методів, математичного, інформаційного, лінгвістичного та програмного забезпечення для ГІС;
- розробка й удосконалення геоінформаційного картографування та інших видів геомодельовання;
- застосування системних підходів до аналізу багаторівневої і різноманітної геоінформації;
- розробка комп'ютерних геозображень нових видів і типів, анімаційних, мультимедійних, віртуальних та інших електронних продуктів;
- розробка та вдосконалення інфраструктури просторових даних, методів і технології збереження й використання геоінформації на основі розподілених баз даних і знань;
- застосування телекомунікаційних систем збору, аналізу, обробки і поширення просторово-часової геоінформації;

– взаємодія геоінформатики, картографії й аерокосмічного зондування.

Значення наукових і технічних проблем геоінформатики полягає в забезпеченні інформацією, контролі й підтримці прийняття управлінських рішень у сферах планування та проектування, досліджень у науках про Землю та суміжних з ними соціально-економічних науках, у розвитку освіти й культури, збереженні екологічної рівноваги, попередження виникнення надзвичайних ситуацій, забезпеченні обороноздатності країни тощо.

Від географії ГІС успадкували принципи та методи картографічного відображення простору, зокрема принципи просторової локалізації будь-якої інформації, яка надходить і зберігається в ГІС. Це служить концептуальною основою для інтеграції будь-яких баз даних, накопичених у будь-яких сферах людської діяльності, оскільки всі дані можуть бути "прив'язані" до найбільш природної та зрозумілої для людини системи відліку – координат на поверхні Землі.

Крім того, застосування принципів картографічного аналізу та моделювання дозволяє найбільш ефективно виявляти просторові географічні закономірності, зв'язки і тенденції. З іншого боку, загальні методи інформатики формують для ГІС єдину технологічну основу (системний підхід, спільні для багатьох інформаційних технологій формати і структури даних, методи управління даними, глобальні засоби комунікації, спільну інформаційну структуру). Також технології автоматизації дозволяють автоматизувати процес збору, збереження й опрацювання просторових даних. Таке поєднання підходів до опису, відображення й аналізу об'єктів і явищ реального світу і визначає надзвичайно швидкий розвиток ГІТ у всіх сферах життєдіяльності людини та їх здатність виконувати інтегруючу роль у постановці та вирішенні глобальних проблем інформатизації суспільства.

Ще 20–25 років тому вчені прогнозували, що ХХІ століття стане епохою біології. Однак сьогодні в науковому світі переважає думка, що в найближчі десятиліття на трон "цариці наук" може сісти геоінформатика.

ГІС ефективні в усіх галузях, де здійснюються облік й управління територією та об'єктами на ній. Ці системи виявилися надзвичайно ефективними для розв'язку задач управління і планування, які зустрічаються в будь-якій сфері діяльності людини, від цивільного будівництва до моніторингу навколишнього середовища та різноманітних науково-практичних досліджень. ГІС використовують для вивчення як природних, так і антропогенних явищ. Зокрема, для вирішення задач міського планування необхідне глибоке розуміння зв'язку між розселенням і такими елементами інфраструктури, як дорожні розв'язки, школи, лікарні, пости міліції тощо. В той же час предметом вивчення геоморфології, ґрунтознавства, екології та інших наук є природні об'єкти і явища (наприклад, гірські

породи, розподіл ґрунтів і рух тектонічних плит). ГІС використовують і для спільного дослідження антропогенних і природних явищ, зокрема для вивчення антропогенного впливу на природне середовище при будівництві великих промислових об'єктів. Можна також згадати такі галузі застосування ГІС, як аналіз здійсненності проектних рішень (наприклад, оцінка придатності ділянки для будівництва), моделювання ерозії ґрунтів тощо.

ГІС – це технологія, яка дозволяє розкрити всі грані інформації, укладеної в простих табличних адресах, а також в інших даних, які описують розташування (коди поштового індексу, коди області або району, широту і довготу) просторового об'єкта. ГІС підтримує управління даними, аналіз і прийняття рішень, створюючи, таким чином, основу, на якій дані записів по рахунках, демографічні відомості про покупців, торгова статистика можуть бути об'єднані з просторовими (картографічними) даними, щоб надати новий зміст місцю розташування об'єкта. Тому карти можуть використовуватися для організації запитів з бази даних, або база даних використовується для створення карт та інших наочних зображень.

Таким чином, ГІС утворює основу для потужної системи спостереження за ресурсами, процесами, явищами, подіями, яка використовує просторово-координатну прив'язку (позиціонування) – найбільш важливий фактор для будь-якого виду діяльності.

Але в роботі з ГІС існують і певні складності, наприклад, велика залежність від вихідних геоданих, їх точності та чіткості перенесення в ГІС. Вадюю може бути і певна складність аналізу об'єктів, хоча ця проблема вирішується за допомогою підключення додаткових модулів і налаштуванням системи під конкретні проблеми.

Найбільш складні технологічні рішення включають у себе експертну підтримку.

ГІС дають можливість використовувати для введення інформації та її оновлення сучасні електронні засоби геодезії й системи глобального позиціонування (GPS), тобто дають можливість отримання точної, актуальної та достовірної інформації. Наприклад, усі зміни в рельєфі можуть швидко передаватися в ГІС, а це надасть можливість з максимальним наближенням виконувати певні прогнози й приймати обґрунтовані рішення.

Сучасні тенденції еволюції програмного і технічного забезпечення ГІС змусили різко змінити політику та ідеологію їх подальшого розвитку. Ці тенденції в галузі ГІТ передусім призвели до різкого розширення ринку користувачів за рахунок сфер і фахівців, колись "далеких" від ГІС.

Зручність й широкі можливості ГІТ, гостра потреба обміну інформацією привернули увагу фахівців багатьох сфер виробництва й управління, які переступили поріг можливостей аналізу даних без їх конкретної наочної прив'язки до об'єктів. Візуалізація даних, оперування просторовими

категоріями, потужні аналітичні можливості просторового моделювання, повноцінна робота зі стандартними СКБД – це лише окремі потужні риси ГІС, що, безперечно, вплинули на стрімке зростання прихильників цієї технології. У свою чергу, багато компаній-розробників програмних засобів у галузі ГІС стали орієнтуватися на різноманітні за своїми потребами та рівнями підготовки користувачів, поставляючи на ринок різнопланові варіанти геоінформаційних пакетів.

1.9. Компоненти ГІС

Компоненти⁴ ГІС – частини системи, виділені за певною ознакою або сукупністю ознак, що розглядаються як єдине цілісне утворення.

Роботу ГІС демонструє такий приклад: уявімо, що існує певна кількість прозорих плівок, на кожній із яких позначені конкретні тематичні об'єкти (наприклад, корисні копалини, мережі: річкова, транспортна тощо). Компонуючи ці прозорі плівки, згідно з певними вимогами, можна відобразити об'єкти та їх тематичні комбінації, які можуть зацікавити користувача або замовника. В цьому випадку комп'ютер і ГІС не потрібні, оскільки користувач переглядає об'єкти, тематичні шари та іншу інформацію, що його цікавить. Однак, у реальному житті доволі часто виникає необхідність збільшувати або зменшувати зображення, точно вимірювати геометричні характеристики об'єктів (довжину вулиць, відстань між населеними пунктами, площу лісового масиву тощо), отримувати вичерпну інформацію про певні об'єкти (наприклад, визначивши промислове підприємство, отримувати інформацію про його профіль, характер забруднень, вплив на навколишнє середовище, дані моніторингу за декілька років по цьому підприємству тощо). Крім того, ГІС можна використовувати як пошукову систему. У цьому випадку формується запит, у якому перераховуються всі характеристики, що цікавлять або можуть зацікавити користувача чи замовника, наприклад, заводи харчової промисловості, що збудовані після 2013 р., які б знаходилися на відстані, що не перевищує 10 км від окружної дороги тощо.

ГІС дозволяє проводити за допомогою вбудованого потужного тематичного апарату аналітичну обробку інформації, причому як внутрішньої (та що знаходиться в базах даних ГІС), так і зовнішньої (аналіз супутникових знімків, їх дешифрування, виділення інформації та тих об'єктів, які цікавлять користувача), а в більш складних ситуаціях навіть здійснювати моделювання реальних подій. Наприклад, ГІС дає можливість

⁴Компонента – складова частина певного цілісного утворення.

оперативно прогнозувати ймовірні місця розривів на трасі трубопроводу, відслідковувати шляхи поширення забруднень, оцінювати можливу шкоду природному середовищу, обчислювати необхідний обсяг коштів, потрібних для ліквідації аварії, і навіть готувати платіжні доручення: одне – для ліквідації наслідків аварії; інше – для ремонту трубопроводу (якщо, наприклад, ГІС інтегрована з пакетом бухгалтерської програми "1С:Підприємство").

Основні компоненти ГІС представлені на рис. 1.11.



Рис. 1.11. Компоненти ГІС

Інформаційне забезпечення ГІС є відповідним чином закодованою просторовою інформацією, тобто інформацією, пов'язаною з місцем її розташування. Просторові дані складаються з цифрових представлень реально існуючих дискретних просторових об'єктів (процесів, явищ, подій).

У багатьох випадках найбільш складною частиною постачання даних у ГІС є їх співвіднесення з місцем розташування об'єкта – цей процес називається *геокодуванням*⁵ або *геоприв'язкою*.

Маючи справу в ГІС з розміщеними в географічному просторі об'єктами, їх положення може бути описано за допомогою:

– *географічної прив'язки* (територіальний принцип: материк, країна, місто). В цьому випадку геоприв'язкою виступає певна територія;

⁵**Геокодування** – процес, що перетворює опис місця розташування (наприклад, координати, адресу або назву місця) в місце розташування на поверхні Землі.

– *адресної прив'язки* (країна, індекс, вулиця, дім, поверх, корпус, квартира або кадастровий номер об'єкта);

– *координатної прив'язки* (градуси, мінути, секунди) іноді з позначенням висоти;

– *атрибутивної прив'язки* (ліворуч від вокзалу, напроти виходу, біля церкви в Кукуєво, південніше східної околиці села Гадюкино, збоку від заправки, на рівнині, на 30 кілометрі траси Е-95, в горах) тощо.

Отже, в певному наборі даних ГІС повинен існувати елемент, який визначає його положення. Елемент, що визначає місце об'єкта, називається *геокодом*.

Однорідні дані в ГІС формують тематичний шар даних, або оверлей (overlay – покриття, тема). Саме з цього терміна й походить форма подання даних у ГІС – шарове або пошарове. Комбінуючи тематичні шари та їх послідовність, можна отримувати тематичні карти та здобувати нові знання.

Дані – це найважливіша компонента ГІС. Дані про просторові розташування об'єктів та їх атрибути можуть збиратися як самим користувачем, так і отримуватись у постачальників на комерційній або іншій основі. Велика кількість просторових даних є безкоштовною або умовно-безкоштовною.

ГІС одночасно є засобом управління та створення даних. Створення ГІС часто починається саме з накопичення даних, тобто з інформаційного забезпечення.

Апаратне забезпечення – це комп'ютер, на якому інстальована ГІС, а також набір периферійних пристроїв, що забезпечують уведення і виведення інформації. ГІС можуть працювати на різних типах апаратних комп'ютерних платформ від централізованих серверів до окремих персональних або пов'язаних мережею настільних комп'ютерів.

Найбільш часто використовуються такі зовнішні пристрої: дигітайзери, сканери, принтери, плотери.

Ефективна робота сучасних ГІС можлива тільки на підставі потужної технічної комп'ютерної підтримки. Апаратні засоби ГІС спільно з технічними засобами позиціонування (електронними геодезичними станціями, приймачами супутникових систем позиціонування), засобами дистанційного зондування Землі інтегруються в технічні комплекси, які дозволяють ефективно отримувати й обробляти геопросторову інформацію.

Програмне забезпечення – це сукупність взаємопов'язаних програмних модулів, які забезпечують виконання основних функцій ГІС (можливість уведення, збереження, обробки та аналізу даних, їх візуалізації, надання підтримки прийняття рішень), а також безпосереднє керування ГІС у цілому (рис. 1.12).

Ключовими компонентами програмного забезпечення є:

- система введення й обробки просторової інформації;
- система керування базами даних;
- системи підтримки просторових запитів, аналізу та візуалізації (відображення);
- графічний інтерфейс користувача для легкого доступу до інструментів і функцій ГІС;
- вбудоване середовище для створення додаткового програмного забезпечення.

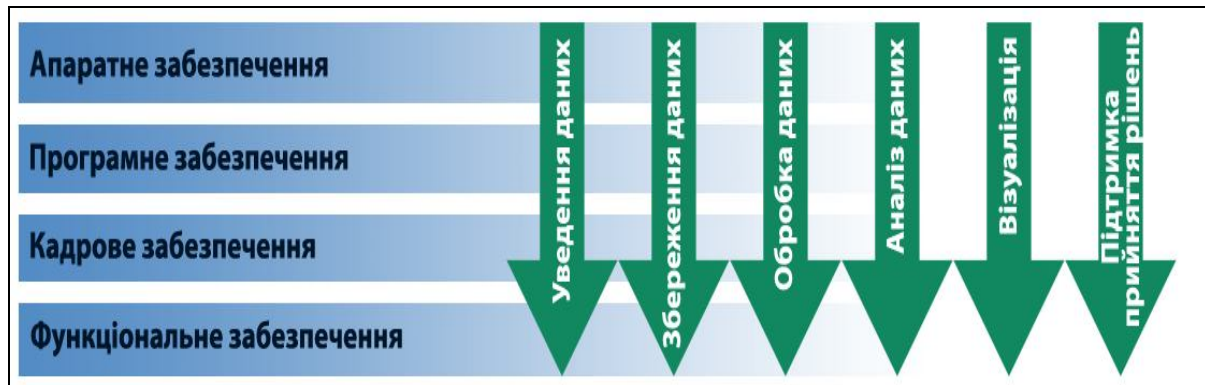


Рис. 1.12. Функції ГІС

Програмною оболонкою ГІС називають частину прикладного програмного забезпечення, яка реалізує функції ГІС.

Графічні редактори і СКБД з позицій програмного конструювання є оболонками над даними. Оболонка графічного редактора надає користувачу інструменти графічного редагування та візуалізації об'єктів растрової, векторної або гібридної графіки. Оболонка СКБД дозволяє прикладним програмам звертатися до даних за допомогою SQL-запитів, створюючи ілюзію їх упорядкування у вигляді таблиць. Файлова структура для збереження даних повністю прихована для користувача. Концепція оболонки дає можливість "боротись" зі зростаючою складністю програмних систем [95].

У складні об'єктно-орієнтовані програмні комплекси ГІС, наприклад, ArcInfo, InterGraph, AutoCad Map входять засоби розробки прикладних програмних оболонок, призначенням яких є приховування деталей реалізації процедур відбору картографічних даних і їх візуалізації.

За оцінками фахівців у галузі інформатики [15], тривалість життя (зміни покоління) основних компонент інформаційної системи варіюється в межах:

- апаратного забезпечення – до 5 років;
- програмного забезпечення – до 15 років;
- даних – до 70 (і більше) років;
- користувачів (людей) – до 50 років.

Отже, при вивченні ГІС не має гострої необхідності детально зупинятися на апаратному забезпеченні або на підсистемі виведення інформації, хоча саме для підсистеми важливим елементом є подання картографічних даних як вихідного або проміжного продукту ГІС.

Кадрове забезпечення ГІС складають як кваліфіковані технічні фахівці, які розробляють і підтримують системи, створюють і керують даними, так і безпосередньо користувачі, які використовують їх у повсякденній роботі. Від кадрового забезпечення залежить ефективність ГІС.

Обов'язковою умовою реалізації ГІС є наявність креативних користувачів, які мають відповідну фахову підготовку для дослідження земного простору, роботи з геоданими, вміють працювати в середовищі геоінформаційних додатків, створювати та підтримувати їх у робочому стані, мають певні знання з предметної сфери застосувань ГІС.

Для створення ГІС потрібні розробники, а для функціонування – користувачі, причому кількість останніх складає більшість.

Важливою вимогою є вміння приймати правильні рішення за результатами аналізу даних. Результат застосування ГІС багато в чому залежить від вміння і досвіду персоналу, задіяного в даному проекті.

Функціональне забезпечення – методологічний апарат, закладений у ГІС. Сучасні ГІС включають засоби розробки, які дозволяють нарощувати функціональність і перетворювати універсальні ГІС у спеціалізовані системи для конкретних галузей, сфер знання, робочих колективів.

Функціональне забезпечення ГІС потребує використання низки стандартів. Стандарти встановлюють, як дані визначаються, зберігаються й переміщуються між системами та додатками.

1.10. Відмінність ГІС від інших інформаційних систем

Характерною особливістю ГІС є наявність картографічної основи – цифрових карт, планів і схем, графічні об'єкти яких пов'язані посиланнями з елементами даних зовнішніх інформаційних джерел (просторові дані інших ГІС, атрибутивні дані серверів баз даних, бази знань, тексти і гіпертексти, звукові та відеофайли, анімація, фотореалістичні зображення і будь-які структуровані документи).

Раніше було визначено, що ГІС виконує функції введення, інтегрування, збереження, обробки, аналізу, моделювання та візуалізації географічної (просторової) інформації, поєднує традиційні операції при роботі з базами даних – запит і статистичний аналіз – з перевагами повноцінної візуалізації та просторового аналізу, які надає карта. Ця особливість дає унікальні можливості для застосування ГІС у розв'язку широкого спектра задач, пов'язаних з аналізом явищ і подій, прогнозуванням їх ймовірних наслідків, плануванні стратегічних рішень.

Відмінність ГІС від інших інформаційних систем представлена на рис. 1.13.

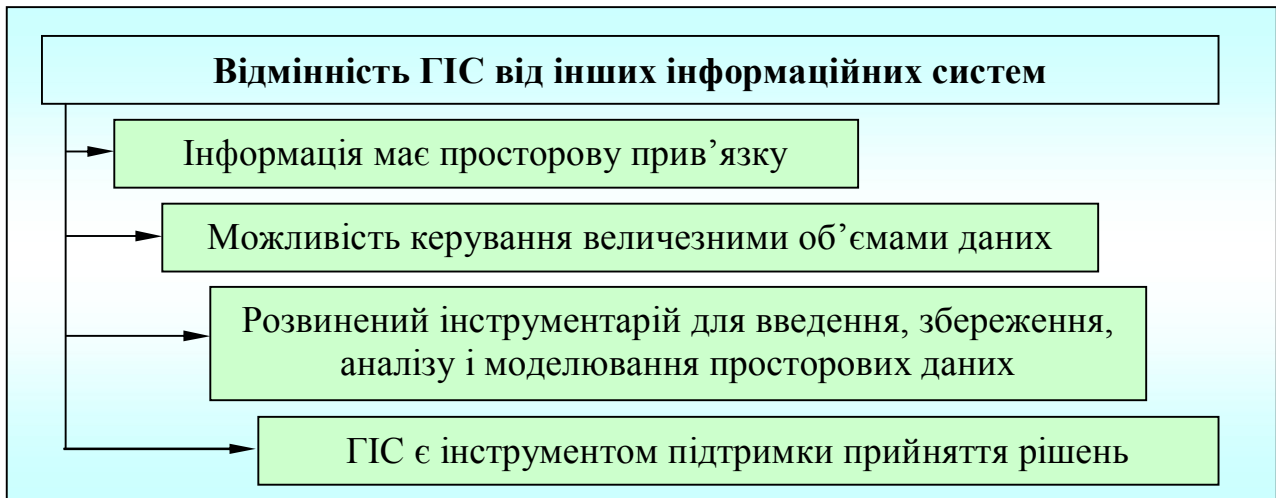


Рис. 1.13. Відмінності ГІС від інших інформаційних систем

Базові принципи побудови ГІС подані на рис. 1.14.

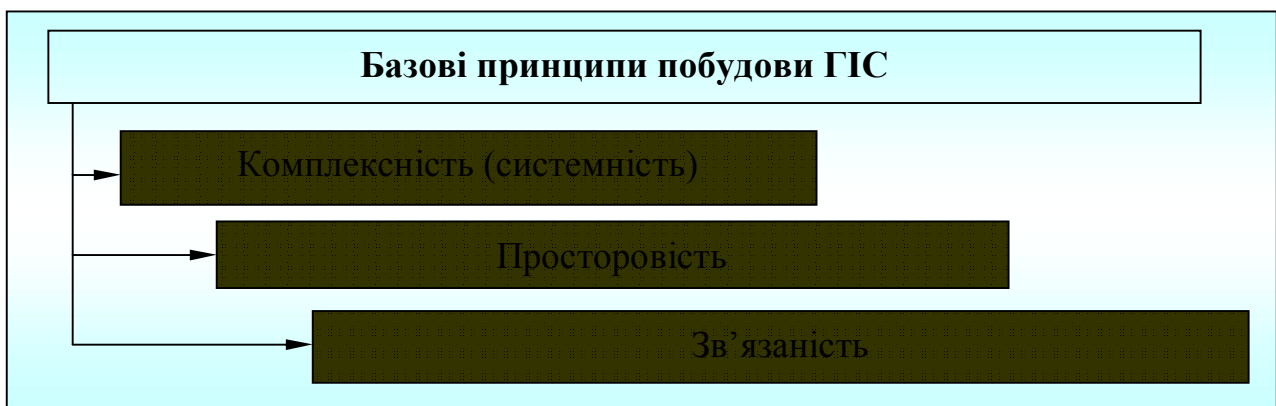


Рис. 1.14. Базові принципи побудови ГІС

Специфічні функції ГІС представлені на рис. 1.15.

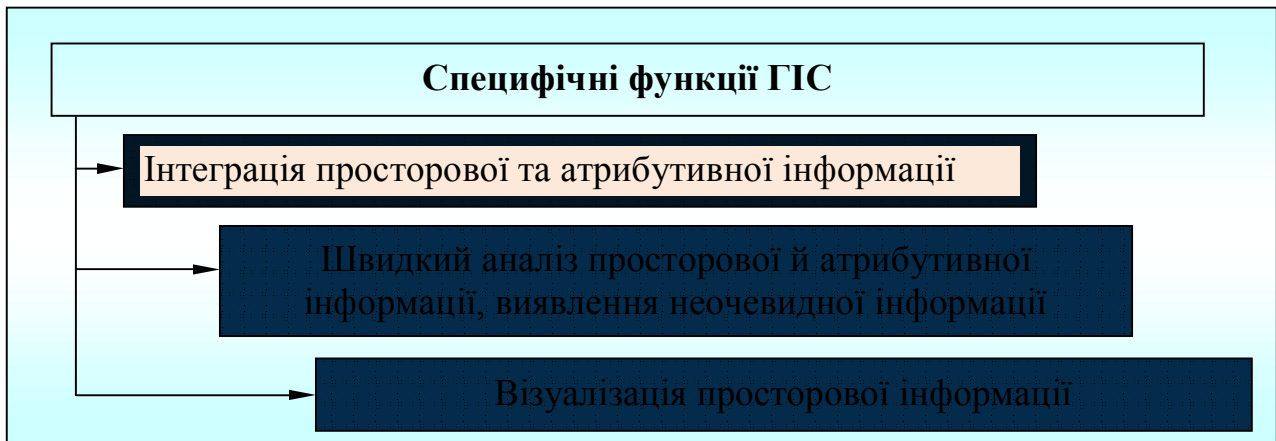


Рис. 1.15. Специфічні функції ГІС

Комплексність (системність) ГІС – це комплекс програмного, апаратного, інформаційного забезпечення, який керується підготовленим певним чином фаховим персоналом.

Просторовість. ГІС у своєму арсеналі мають інструментарій, який працює з будь-якими даними, розподіленими в просторі, що мають свою систему координат, починаючи від колоній мікроорганізмів і закінчуючи планетою Земля. ГІС також дозволяють здійснювати операції з даними, які не мають просторової прив'язки, але основна функціональність ГІС орієнтована саме на роботу з просторовими даними.

Зв'язаність – наявність тісного взаємозв'язку між просторовою й атрибутивною інформаціями.

У рамках ГІС вперше ці два типи інформації були тісно поєднані, а це, у свою чергу, багато в чому визначило появу ГІС у вигляді окремої галузі програмного забезпечення. Саме тому ГІС називають системою управління базами даних (СКБД) і з можливістю створення карт або системою цифрової картографії з розширеною підтримкою баз даних.

Інтеграція. ГІС відрізняються від інших ІС саме тим, що вони володіють ефективними можливостями інтегрування різнопланової просторової інформації, що пов'язана з реальним земним простором. Це означає, що будь-які дані можуть бути інтегровані до однієї системи, якщо ці дані мають або можуть мати просторову прив'язку в реальному земному просторі.

Наприклад, муніципальна ГІС інтегрує інформацію про містобудування, населення, землекористування, житловий і нежитловий фонди, міські інженерні системи водопостачання, водовідведення, тепlopостачання, газопостачання, електропостачання, транспортну інфраструктуру, про екологічну обстановку, правопорушення тощо. Це дає можливість керувати, наприклад, підсистемами міста комплексно (системно), визначати вплив одних факторів на інші.

Загалом інтегровані просторові дані надають можливість:

- реалізувати комплексний (системний) підхід при аналізі сутностей реального світу;
- визначати вплив, залежності, зв'язки одних об'єктів і явищ реального світу на інші;
- виробляти пропозиції для прийняття ефективних управлінських рішень;
- забезпечувати цілісність і несуперечність усієї інформації в системі;
- уникати дублювання введення даних;
- вдосконалювати інформаційну взаємодію;
- підвищувати якість і оперативність роботи підсистем.

Таким чином, інтегрування багатьох факторів є ключовим методом ГІС. Чим більше інформації зберігається в системі, тим ефективніше ця система працює. Причому ці можливості зростають не пропорційно, а за експоненціальним законом.

ГІС інтегрують не тільки дані але й передові інформаційні технології: технології автоматизованої картографії; технології баз даних; технології цифрової обробки результатів позиціонування та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ); технології геоінформаційних web-сервісів у відкритих середовищах Інтернет та багато інших технологій, які не тільки розширюють можливості ГІС, але й визначають майбутню стратегію розвитку ГІС у зв'язку з інтеграцією та розвитком передових інформаційних технологій.

Ключові переваги ГІС представлені на рис. 1.16.

ГІС – це система, яка інтегрує знання. Проблеми розробки, функціонування і використання ГІС перебувають на стику трьох галузей наукових знань: комп'ютерні науки, науки про Землю і земний простір, галузі геоінформаційних додатків (рис. 1.17).

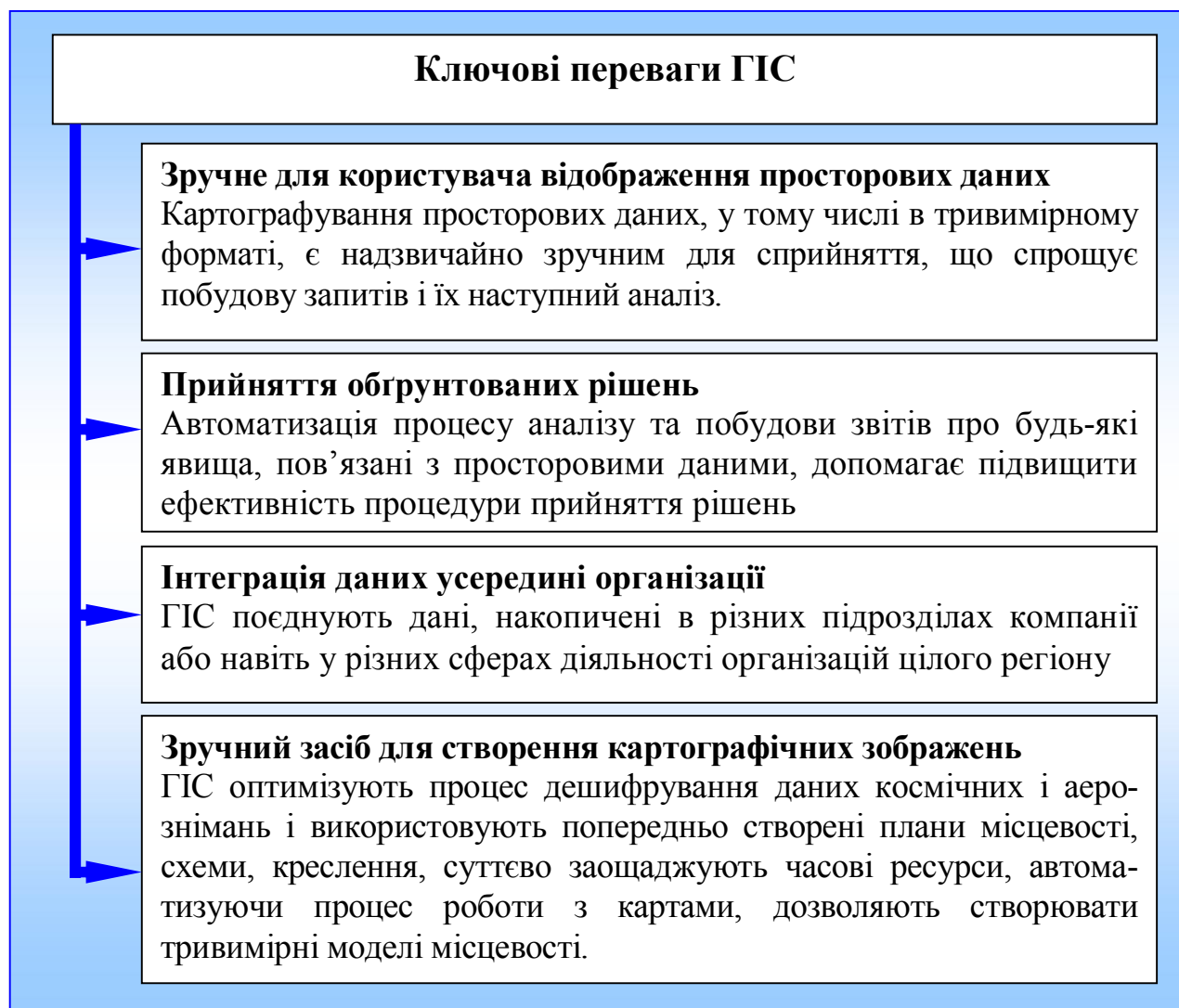


Рис. 1.16. Ключові переваги ГІС



Рис. 1.17. Взаємозв'язок ГІС з науками про Землю та комп'ютерними науками [55]

Виходячи з такої концепції розуміння ГІС, можна стверджувати, що:

- відсутність у цій сукупності будь-якої галузі наукових знань не дозволяє створити сучасну ГІС у загальноприйнятому значенні;
- креативні користувачі ГІС повинні володіти знаннями із зазначених галузей.

Базові галузі наукових знань наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Базові галузі наукових знань

Комп'ютерні науки	Науки про Землю, навколишній і підземний простіри	Геоінформаційні додатки
Інформатика та програмування	Геодезія	Управління територією
Математичне моделювання	Географія	Містобудівництво і архітектура
Операційні системи	Картографія	Інженерна інфраструктура
Текстові та графічні редактори	Аерокосмічна зйомка	Управління нерухомістю
Електронні таблиці	Фотограмметрія	Транспорт і логістика
СКБД	ДЗЗ	Екологія
Інформаційні мережі	Глобальні системи позиціонування	Природні ресурси
Обробка зображень		Демографічні дослідження
САПР		Функціонування силових відомств
		Інше (усього близько 80 дисциплін)

Аналіз. ГІС відрізняються від інших ІС тим, що володіють ефективними можливостями аналізу просторових даних і на його основі можуть виконувати просторове моделювання об'єктів, процесів та явищ. Сучасні ГІС володіють потужним інструментарієм для просторового аналізу. Саме тому просторовий аналіз називають "серцем" ГІС [15].

ГІС дозволяють зберігати величезні об'єми різноманітних даних у розподілених базах даних, узагальнювати й аналізувати інформацію набагато швидше, ніж будь-які інші традиційні методи досліджень.

Аналітичні можливості ГІС дозволяють отримувати відповіді на безліч просторових запитів, вирішувати величезну кількість просторових задач у різних предметних галузях. Усе розмаїття задач просторового аналізу можна умовно поділити на 5 узагальнених категорій:

1) *Аналіз місця розташування.* Цій категорії відповідає просторовий запит: що існує в конкретному місці на поверхні Землі?

Щоб побачити, де розташований і як виглядає об'єкт, що цікавить користувача ГІС, для цього використовуються карти. На карті наочно представлений характер просторового розподілу об'єктів, а це дозволяє виявити зв'язки між ними та краще зрозуміти область дослідження. Тільки побачивши місце розташування об'єктів, можна зрозуміти причини просторових взаємозв'язків.

Для того, щоб проаналізувати закономірності розподілу даних, потрібно певним чином відобразити досліджувані об'єкти, ґрунтуючись на значеннях їх характеристик. Наприклад, еколог може оцінити вплив особливостей рельєфу або інших чинників на просторовий розподіл рослинних співтовариств, використовуючи картографічні дані, архітектор може спланувати розміщення певного об'єкта у відповідності з генеральним планом населеного пункту (планом існуючої забудови і планом інженерної інфраструктури) аналітик райвідділу міліції, створивши карту розподілу злочинів різного типу, спроможний виявити рецидиви в окремих районах.

2) *Задоволення просторових умов.* Цій категорії просторового аналізу відповідає запит: Де задовольняються конкретні просторові умови?

Найпростіший запит про місце розташування об'єкта складається за однією умовою. Для отримання відповіді достатньо виконати одну штатну операцію.

Більш складний запит про місце розташування об'єкта може включати певний набір умов. Для отримання відповіді вже потребується використання низки операцій просторового аналізу. Наприклад, де знаходиться майданчик для будівництва площею 2 га в межах до 200 м від міста Києва з ґрунтами несучої здатності до 1 кг/см²; обґрунтувати місце розташування торгового, навчального закладу або бізнес-центру з урахуванням багатьох,

у тому числі просторових чинників, або знайти оптимальну трасу трубопроводу або шляхопроводу, що планується побудувати поруч із населеним пунктом.

3) *Часовий аналіз.* Цій категорії відповідає запит: які зміни відбулися на певній території за зазначений період? Відповідь на це питання представляє собою спробу визначити зміни, що відбулись у просторі й у часі, тенденції цих змін на певній території. Наприклад, яка тенденція поширення грипу в регіоні, які нові об'єкти побудовані за останній рік, наскільки і яке збільшення урбанізованих територій відбулося? Зберігаючи і порівнюючи карти, отримані в різні періоди, ГІС дозволяє виявити динаміку змін, тобто провести часовий аналіз.

4) *Виявлення структури.* Цій категорії відповідає просторовий запит: які просторові структури або розподіли існують? Наприклад, скільки є аномалій, які не відповідають нормальному розподілові, та де вони знаходяться; який розподіл населення в населеному пункті; які ділянки дороги є найбільш небезпечними; який розподіл вартості нерухомості на території міста; який розподіл вартості землі в регіоні?

Виділення просторових структур – це складне питання, що потребує застосування арсеналу потужних засобів просторового аналізу.

5) *Оцінка різноманітних сценаріїв.* Сценарій є результатом питань типу: "Що відбудеться, якщо...?" Наприклад, що відбудеться, якщо інтенсивність танення сніжного покриву стане критичною; які витрати необхідно понести для розширення автомагістралі на 3 м; як зміниться якість транспортного обслуговування віддаленого мікрорайону, якщо скоротити кількість автобусних маршрутів з ринку "Троєщина" і додати таку ж кількість тролейбусів? У таких і аналогічних випадках користувач використовує модель для прогнозування та карти потенційного впливу. Застосування такої моделі дозволяє побудувати гіпотетичну ситуацію та прогнозувати розвиток і наслідки соціологічних та економічних ситуацій, стихійних лих і аварій природно-техногенного характеру в просторі та часі.

Останнім часом спостерігається помітне зростання ролі аналітичних і моделюючих функцій ГІС. Наприклад, система ArcGIS 10.1 (ESRI) включає доступні для освоєння модулі Spatial Analyst, 3D Analyst, Network Analyst, Geostatistical Analyst.

Візуалізація. Сучасні ГІС володіють потужним інструментарієм для візуалізації інформації. Тематична інформація в ГІС відображається за допомогою картографічних образів, діаграм, графіків, оформлених багатим арсеналом образотворчих засобів, адаптованих для зручного сприйняття інформації.

Об'єкти карти можуть бути відображені або надруковані в будь-якій комбінації і фактично у будь-якому масштабі карти, роблячи цифрові картографічні дані більш гнучкими, порівняно з традиційними паперовими картами.

Більшість людей ефективніше мислять і приймають рішення, якщо їх проблема представлена у формі картин, креслень, діаграм, ілюстрацій. За допомогою нюху, дотику і слуху людина отримує лише 30 % загальної інформації про світ, а 60 % (вдумайтеся, вдвічі більше!) людина сприймає через зір. Саме тому в народі кажуть: "Краще один раз побачити, ніж сто разів почути".

Властивості ока людини дозволяють миттєво оцінювати видиму ситуацію в цілому. Якщо уявити роботу авіадиспетчера, який отримує інформацію про перебування у зоні відповідальності десятків літаків (рис. 1.18), то зрозуміло, що аналіз цього стану та прийняття відповідних рішень через візуалізацію на екрані монітора відбувається значно ефективніше, ніж у випадку опрацювання цієї інформації на слух.



Рис. 1.18. Візуалізація перебування літаків у зоні відповідальності диспетчера

ГІС дозволяють реалізовувати безліч запитів і надавати відповіді зрозумілою користувачам з дитинства мовою карт.

ГІС – це засіб, який допомагає підвищити якість рішень, що приймаються, на основі ефективного подання результатів обробки й аналізу просторових даних.

Ці можливості роблять ГІС надзвичайно корисною системою для широкого кола людей і організацій, для планування стратегії та управління інфраструктурою.

Крім того, до відмінностей ГІС від інших ІС можна віднести те, що це:

- людино-програмно-машинний комплекс із прийому, обробки, збереження, аналізу та передачі будь-якої просторово-розподіленої інформації;

- можливість оперативного реагування на будь-яку ситуацію, яка виникла на будь-якій території, з отриманням за нею всієї необхідної картографічної і тематичної інформації;

- можливість накладання різноманітної тематичної інформації на той самий просторовий контур й отримання нової інформації про територію;
- аналітичне, картометричне дослідження й аналіз з одночасною побудовою будь-яких карт, планів і схем;
- моделювання тих чи інших процесів, явищ і вивчення змін їхнього стану в часі;
- візуалізація просторової інформації й можливість її подання в динамічному режимі;
- управління ресурсами та територіями;
- швидкість, якість і точність;
- поєднання науки, технології та бізнесу;
- новий світогляд і нове мислення, побудовані на просторовій ідеології.

ГІС не є електронною копією паперових карт, оскільки мають незрівнянно більші можливості розміщення, відображення й обробки інформації про територію і її об'єкти. ГІС відрізняються від графічних систем типу Corel Draw або Photoshop організацією просторових даних на точній географічній основі, топологією, проєкціями і системою координат, а також наявністю системи управління базами даних (СКБД).

ГІС відрізняються від стандартних СКБД можливістю систематизації і зіставлення даних, а також організації запитів на просторовій основі.

Прабатьками ГІС вважаються наведені нижче ІС, які набули широкого застосування у різних галузях науки і техніки.

1.11. Джерела виникнення ГІС

Розвиток ГІС у їх сучасному розумінні зумовлений бурхливим розвитком інформаційних технологій, передусім систем автоматизованого проектування, автоматизованих картографічних систем, систем управління мережами, систем керування базами даних та апаратної бази.

1.11.1. Системи автоматизованого проектування

Система автоматизованого проектування (САПР) – комплекс апаратних і програмних засобів проектування об'єктів або їх інформаційне моделювання з використанням засобів інтерактивної графіки.

САПР включає такі технології:

- САД (англ. Computer-aided design) – технологія автоматизованого проектування;
- САМ (англ. Computer-aided manufacturing) – технологія автоматизованого виробництва;

- CAE (англ. Computer-aided engineering) – технологія автоматизованої розробки;
- CALS (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support) – постійна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу.

Значна кількість САПР для ПК дозволяє їх застосовувати в різних галузях. Наприклад, розроблені такі системи, як DataCAD, AutoCAD, CAD-KEY-3, DesignCAD 3D, Anvil 1000, MaxiCAD, Mega Model, MicroStation JRC, CAD-One, ModelMate Plus, VersaCAD DESIGN тощо.

Основне призначення САПР – отримання оптимальних проектних рішень із використанням засобів машинної графіки – відповідає вимогам ГІС на рівні моделювання, збереження (формування цифрової моделі місцевості) та проектування карт на основі вже зібраної, уніфікованої інформації. В процесі традиційного проектування передача інформації відбувається за допомогою креслень, графіків і діаграм.

Застосування САПР має істотні переваги порівняно з традиційним кресленням, що обумовлено:

- значною швидкістю виконання креслень;
- підвищенням точності виконання креслень за рахунок більш детального перегляду будь-якого елемента креслення в довільному масштабі;
- покращанням якості креслень за рахунок швидкого внесення правки без погіршення якості кінцевого продукту;
- можливістю багаторазового копіювання, оскільки будь-яке креслення чи його частина можуть бути збережені і, за необхідності, повторно використані.

Первісно САПР використовувались як двомірні системи, які забезпечували тільки автоматизацію випуску конструкторської документації. Подальша еволюція систем пов'язана з уведенням тривимірних моделей об'єктів і операцій над ними.

Позитивним у САПР є те, що вони підтримують великий арсенал пристроїв уведення-виведення, дозволяють працювати з різноманітними тематичними шарами інформації, але не завжди спроможні забезпечити роботу з просторовою інформацією, зокрема з картою. Головною причиною є використання в САПР декартової системи координат для опису елементів креслень і маніпуляція тільки з геометричними примітивами: колами, еліпсами, циліндрами, кубами, а не з реальними об'єктами.

Ще однією причиною недостатньої придатності САПР для розв'язку завдань, що стоять перед ГІС, є обмежена можливість роботи з тематичними даними в описі об'єктів. Без цієї частини вирішення завдань аналізу практично неможливе. В САПР застосовуються тільки цифрові моделі об'єкта з високим ступенем типізації інформації. В ГІС цифрове моделювання значно складніше, а клас цифрових моделей включає більшу кількість типів, на відміну від САПР. Але останнім часом з'явилися такі САПР,

які вже майже не мають вищеназваних недоліків. Це такі, як AutoCAD MAP і Autodesk World (компанії Autodesk Limited, США). Крім цієї фірми на розробці програмного забезпечення для САПР спеціалізуються такі відомі фірми, як Seli, Intergraph, DesignCAD, MicroStation, Bentley та інші.

Основною відмінністю САПР від ГІС є те, що в ГІС дані в межах одного шару однорідні, а в САПР – ні. Крім того, САПР, зазвичай, не надають розвинених засобів підключення баз даних, що ускладнює організацію спеціалізованих систем, що мають складну модель даних, яка реалізується на базі зовнішньої системи керування базами даних (СКБД).

Проте треба відзначити, що в останніх версіях САД-систем (аналогічно ГІС) з'явилися бази даних, що пов'язано зі зростаючою популярністю ГІС і втратою виробниками продуктів САПР частини користувачів.

1.11.2. Автоматизовані картографічні системи та системи настільного картографування

Автоматизована картографічна система (АКС) – комплекс технічних, програмних, інформаційних, лінгвістичних й організаційних засобів, які забезпечують створення карт у цифровій і (або) графічній формі.

Ця технологія дозволяє здійснити комп'ютерне збереження точок і ліній в одному або декількох тематичних шарів даних. Ці шари можна відображати окремо або в сукупності, однак АКС не здатні об'єднувати об'єкти, що належать до різних шарів.

Професійні АКС дозволяють отримувати продукт, якість якого не поступається типографському, однак вони не мають на меті управління даними протягом тривалого часу і практично позбавлені засобів аналізу.

АКС добре справляються з виробництвом стандартних карт, де всі елементи змісту заздалегідь визначені, а об'єкти зберігаються в спеціальних бібліотеках, які мають свій символ і код.

В АКС регламентується все, аж до заливок, штрихування, видів і розмірів шрифтів. Зображення на карту наноситься в чіткій відповідності з прийнятими умовними знаками. Такий підхід дозволяє швидко створювати стандартні карти дуже високої якості, але оскільки АКС позбавлені можливостей моделювання й аналізу, вони не можуть впоратися, наприклад, із тематичним картографуванням, завданнями територіального управління, моніторингом тощо.

Цифрові геодезія та картографія (Automated Mapping, АМ) стали одним із природних джерел виникнення ГІС, оскільки вони описують, структурують, зберігають і опрацьовують просторову геодезичну та картографічну інформацію, вирішують задачі картографічної алгебри.

Системи настільного картографування використовують картографічне подання для організації взаємодії користувача з даними. У таких систе-

мах карта є базою даних. Більшість систем настільного картографування має обмежені можливості управління даними, просторового аналізу й настроювання. Відповідні пакети працюють на настільних комп'ютерах – PC, Macintosh і моделях UNIX робочих станцій.

1.11.3. Системи керування мережами

AM / FM (Automated Mapping / Facilities Management – Автоматизоване картографування / Керування експлуатацією обладнання) – системи керування просторово розподіленими об'єктами інженерних мереж, із кожним з яких пов'язана істотна змістовна інформація.

Просторова інформація FM-систем включає інформацію з проектів інженерних мереж, побудованих у САПР. Для більшості завдань управління мережами зазвичай не потрібна метрична точність і реальне положення об'єктів у просторі. Це зближує AM / FM із САПР. До програмних систем, які побудовані на платформі САПР і які забезпечують розв'язок проектних задач, відносяться CADdy фірми Ziegler (Німеччина), група продуктів CREDO фірми "Кредо-Діалог" (Мінськ, Білорусь), система ReCAD (розробка ТОВ ІДЦ "Індор", Томськ), сімейство програмних продуктів Civil Engineering корпорації Intergraph, США та багато інших.

Програмні продукти родини Civil Engineering призначені для розробки проектів автомобільних доріг і залізниць, ландшафтів і інженерних мереж. До складу більшості продуктів включені засоби DraftWorks.

Більшість цих продуктів є додатками до інтегрованого графічного середовища MicroStation (Bentley Systems Inc.), що використовують усі потужні можливості даного графічного редактора. Найбільш відомими системами в рамках сімейства Civil Engineering можна віднести ISOGEN (фірма Alias Ltd), CADPipe ISO (фірма Orange Technologies), Auto-PLANT Isometrics (фірма Rebis), L / ISO (фірма Logos).

У 1998 р. з'явилась родина програмних продуктів SelectCAD, які можуть функціонувати як на базі AutoCAD 2000 і більш пізніх версій, так і на базі MicroStation 95 / SE / J. Останнім часом відбувається розширення можливостей цих систем не тільки функціями керування об'єктами мереж, а й завданнями проектування й експлуатації. Це призвело до необхідності точної координатної прив'язки мереж і спільного використання цієї інформації з іншою просторовою інформацією, яка визначає взаємне розташування і вплив об'єктів реального світу.

З розвитком систем AM / FM і розширенням їх функцій, а також у зв'язку з паралельним розвитком ГІС і перетином сфер їхнього використання типові завдання AM / FM стали все більше виконуватися ГІС. До

програмних комплексів, що мають убудовані функції керування інженерними мережами і функції ГІС, відносяться програмні продукти, розроблені фірмами ІОЦ "Потік" (Росія) і ІОК "Модель" (Україна). Ними створені пакети комплексів програмно-технічних засобів різних тематик "Водопостачання і водовідведення" (ІГС "WS-Inventory"), "Теплозабезпечення" (ІГС "HeatGraph"), "Газозабезпечення" (ІГС "GasGraph"). Також треба відзначити розробки компанії "Політерм": ГІС Зулу і системи теплового розрахунку на її базі.

Для моделювання дорожніх мереж використовуються більш вишукані надбудови, які моделюють дороги у вигляді орієнтованих графів, які враховують транспортні розв'язки. Інформаційні системи по дорожніх мережах представлені розробками Державного підприємства РосДорНИИ, ВАТ "Терра" (Воронеж, Росія), МАДІ (ДТТУ, Росія). Цікавою є розробка систем гідравлічних розрахунків фірми Haestad Methods, Inc. – "WaterCAD" і "Cybernet". Система ODULA 2.0 (фірма HYDROINFORM Prague) призначена для будівництва мережевої моделі водопровідної мережі. Для аналізу інформації, що описує телефонну мережу, можна відзначити розробку АТЗТ "Резидент" (Росія) – COPPER MAP 1.0.

Системи родини SmallWorld фірми GE Network Solutions призначені для електричних, водопровідних, теплових і газових мереж. Система FRAMME (фірма Intergraph) призначена для побудови моделей будь-яких інженерних мереж і створення інформаційних систем на їх основі.

Система AutoPLANT (фірма Rebis спільно з Bentley Systems, Inc.) призначена для просторового й інформаційного моделювання складних трубопровідних, електричних мереж і одночасно є спеціалізованою системою проектування.

До основних функцій додаткових модулів, призначених для моделювання інженерних мереж, можна віднести:

- побудову тривимірних моделей інженерних мереж;
- роботу з телеметричною інформацією;
- роботу зі схемами, планами, розміткою споруд і обладнання;
- ведення архіву пошкоджень і зміни параметрів;
- виконання технологічних розрахунків;
- видачу рекомендацій з локалізації аварій;
- моделювання переключень.

На ринку також представлені спеціалізовані комплекси управління інженерними мережами, що володіють широкими можливостями з підтримки детально проробленої та несуперечливої мережі. Однак такі програмні комплекси, зазвичай, мають дуже високу ціну і вимагають великих обчислювальних ресурсів. На відміну від них, сучасні настільні системи ГІС і САПР мають усі необхідні засоби для інтеграції в інформаційні

комплекси. Все це дозволяє зробити висновок про доцільність і ефективність побудови систем інформаційного моделювання з використанням універсальної ГІС, яка має засоби інтеграції і яка призначена для виконання таких підзадач, як відображення даних і просторовий аналіз.

1.11.4. Системи керування базами даних

Системи керування базами даних (СКБД) – сукупність мовних і програмних засобів, призначених для створення, ведення та спільного використання баз даних.

СКБД забезпечують можливість збереження великої кількості різноманітної інформації, її поновлення і реальний час доступу (on-line режим) до даних, навіть за умови їх розподіленого збереження, а іноді саме завдячуючи йому.

Оскільки в ГІС використовуються як просторові, так і атрибутивні (непросторові) дані, то останнім часом з'явилися СКБД, здатні зберігати атрибутивні й просторові дані одночасно, наприклад, ORACLE 8.0 (фірми Oracle, США).

1.12. Інтеграція ГІС з іншими науками про Землю

Технології ГІС первісно мали інтеграційний аспект, оскільки інтегрують просторову й описову (атрибутивну) інформації і дозволяють отримати важливу вихідну основу – інтегровану модель території, – яка є передумовою прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Індустрія ГІС активно залучує нові тенденції, змінюється, еволюціонує і розвивається, це є індикатором того, що галузь має величезний потенціал. Отже, є всі підстави вважати, що і в подальшому ГІС будуть продовжувати свій динамічний розвиток, забезпечуючи своїх користувачів усе новими і новими можливостями.

За щільністю взаємовідносин, рівнем взаємодії й технологічної близькості та можливостями інтеграції найближче оточення геоінформатики утворюють картографія і дистанційне зондування.

Картографія та геоінформатика взаємодіють за багатьма напрямками. Вони об'єднані організаційно, оскільки державні картографічні служби займаються одночасно і геоінформаційною діяльністю. Сформувався навіть специфічний напрям вищої освіти: *геоінформаційно-картографічний*.

Геоінформаційне картографування – це автоматизоване створення і використання карт на основі ГІС і баз картографічних даних і знань.

Суттю геоінформаційного картографування є інформаційно-картографічне моделювання геосистем.

Геоінформаційне картографування може бути галузевим і комплексним, аналітичним і синтетичним. У відповідності з прийнятими класифікаціями виділяють види і типи картографування, наприклад, соціально-економічне, екологічне, інвентаризаційне, оціночне тощо.

Наступним кроком став розвиток системного картографування, при якому увага зосереджується на цілісному відображенні геосистем і їх елементів (під геосистем), ієрархії, взаємозв'язків, динаміки функціонування.

Найбільш характерними рисами геоінформаційного картографування є такі:

- високий ступінь автоматизації, опора на бази цифрових картографічних даних і бази географічних (геологічних, екологічних та інших) знань;
- системний підхід до відображення й аналізу геосистем;
- інтерактивність картографування, тісне сполучення методів створення і використання карт;
- оперативність, яка наближається до режиму реального часу, в тому числі з широким застосуванням ДЗЗ;
- багатоваріантність, яка припускає різносторонню оцінку ситуацій і спектр альтернативних рішень;
- мультимедійність, яка дозволяє поєднувати іконічні, текстові, звукові відображення;
- застосування комп'ютерного дизайну і новітніх зображувальних засобів;
- створення зображень нових видів і типів (електронні карти, тривимірні комп'ютерні моделі й анімації тощо);
- проблемно-картографічна орієнтація картографування, спрямована на забезпечення прийняття рішень.

Завдяки цьому геоінформаційне картографування стало одним із магістральних напрямів розвитку картографічної науки та виробництва.

Єдність двох галузей науки і техніки визначається такими факторами:

- загальногеографічні та тематичні карти – головне джерело просторової інформації про навколишнє середовище, економічну та соціальну сфери, екологічну ситуацію;
- системи координат і розграфка, прийняті в картографії, слугують основою для географічної локалізації всіх даних у ГІС;
- карти – основний засіб інтерпретації й організації ДЗЗ і будь-якої іншої інформації, що надходить, обробляється і зберігається в ГІС;
- ГІТ, що використовуються для вивчення просторово-часової структури, зв'язків і динаміки геосистем, головним чином ґрунтуються на методах картографічного аналізу й математико-картографічного моделювання;

– картографічні зображення – найдоцільніша форма подання геоінформації споживачам, а складання карт – одна з основних функцій ГІС.

На сьогодні існують різні точки зору щодо взаємовідношення картографії, геоінформатики і тісно сполученого з ними ДЗЗ.

Характер зв'язку цих трьох наук і технологій можна представити у вигляді чотирьох моделей.

Лінійна модель (рис. 1.19) ґрунтується на уявленні про те, що початком усього є ДЗЗ, на нього опираються геоінформатика і ГІС з подальшим виходом на картографію.



Рис. 1.19. Лінійна модель співвідношення картографії (К), дистанційного зондування (ДЗ) і геоінформаційних систем (ГІС)

Інша схема називається моделлю домінування картографії (рис. 1.20). Відповідно до цієї схеми, ДЗЗ і ГІС виглядають як підсистеми, що входять до системи картографії.



Рис. 1.20. Домінування картографії

Модель домінування ГІС (рис. 1.21), навпаки, репрезентує картографію і ДЗЗ як підсистеми, що входять до геоінформатики та ГІС.



Рис. 1.21. Домінування ГІС

Найбільш реалістичною визнається модель потрійної взаємодії (рис. 1.22), у якій жодна зі сфер не є домінуючою. Вони перекриваються і тісно взаємодіють між собою в процесі отримання, обробки й аналізу просторової інформації.



Рис. 1.22. Модель потрійної взаємодії

II. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ГІС

*Історія підтвердить мою правоту, особливо якщо я напишу її сам.
Уїнстон Черчіль*

Довжелезний ланцюг подій призвів до створення сучасних ГІС. Описати історію ГІС – доволі складне завдання, хоча б тому, що факти, очевидці та результати досліджень часто суперечать один одному. Крім того, перші роки створення ГІС або мало документовані, або не документовані взагалі, та потрібні істотні зусилля, щоб зрозуміти, як все відбувалося насправді. Однак історію деяких відкриттів прослідкувати можна.

2.1. Передумови розвитку ГІС

Історія людства завжди розгортається не тільки у часі, а й у просторі. Всі помітні події, явища й об'єкти історичного процесу людина завжди прагнула закарбувати не тільки спочатку в усних, а потім у письмових джерелах, а й на схематичних картографічних зображеннях. Усі цікаві відомості про природу, характер тієї чи іншої місцевості, її флору та фауну людини прагнули відобразити, залишаючи про них письмові та картографічні свідчення.

Достеменний час народження ГІС навряд чи буде колись достовірно відомим. Але перше, найстародавніше і найпростіше використання ГІТ було знане ще первісній людині. Доказом цього слугують малюнки, знайдені на стінах кроманьйонців у печері Ласко⁶ (Франція) (рис. 2.1), вік яких перевищує 15000 років.

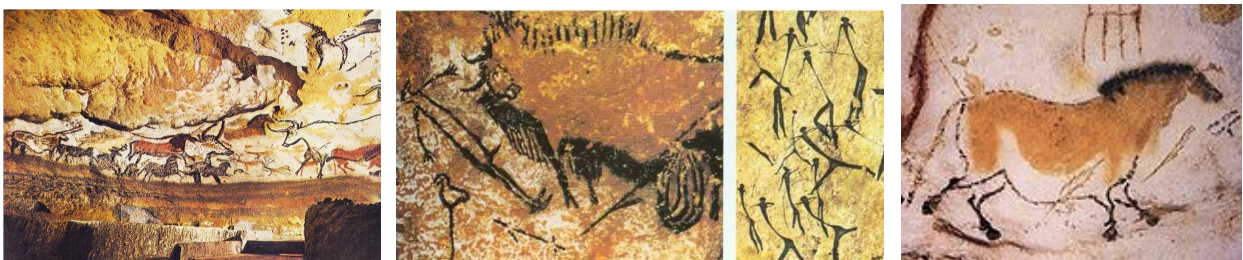


Рис. 2.1. Малюнки кроманьйонців – найстародавніше використання ГІТ

⁶Печера Ласко, або Ляско (фр. *Grotte de Lascaux*) – одна з найважливіших палеолітичних пам'яток за кількістю, якістю й схоронністю наскальних зображень. Іноді Ласко називають "Сікстинською капелою первісної живопису". Мальовничі і гравіровані малюнки, які перебувають там, не мають точного датування: вони з'явилися приблизно в XVIII–XV тисячолітті до н. е.

На малюнках цієї печери зображені тварини, на яких полювали кроманьйонці, площі мисливських угідь, сліди тварин та шляхи їх міграції.

Наведений приклад використання ГТ, безумовно, є доволі простим – малюнок свідчить тільки про пов'язування зображення з атрибутом інформації, але враховуючи вік зображення, це вражає.

Другий відомий факт вдалого прикладу застосування ГТ належить Луї-Олександру Берт'є⁷ (Louis-Alexandre Berthier) (рис. 2.2), який застосував технологію комплексування (суміщення та накладання) просторових даних за допомогою узгодженого набору карт. Штабний офіцер Луї-Олександр Берт'є використав прозорі пласти (шари), які накладались на базову карту для наочної демонстрації переміщення військ у битві під Йорктауном⁸ (Yorktown) у 1781 р. (рис. 2.3).



Рис. 2.2. Луї-Олександр Берт'є

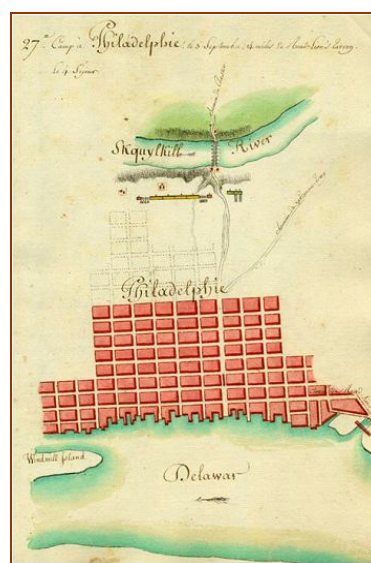


Рис. 2.3. Демонстрація переміщення військ у битві під Йорктауном

Відомо ще декілька спроб вдалого використання просторового аналізу. Так, в "Атласі до другої доповіді представників ірландських залізничних доріг" на одну базову карту були накладені карти населення, транспортних потоків, геологічної будови та рельєфу (рис. 2.4).

⁷**Син ученого-географа**, який з дитинства любив і працював із картою. Берт'є до зближення з Бонапартом (1796 р.) служив штабним офіцером у війнах двох революцій – американській і французькій. Коли американські колоністи підняли повстання проти британського короля Георга III, Франція стала на бік американських колоністів, а Берт'є добровольцем відправився до Америки їм на допомогу. Вже там він зарекомендував себе досить перспективним штабним офіцером.

⁸**Йорктаун** – місто в США, біля якого в жовтні 1781 р. американські та французькі війська під командуванням Дж. Вашингтона і Рошамбо змусили капітулювати семитисячну британську армію Ч. Корнуолліса. Ця подія фактично стала закінченням війни за незалежність.

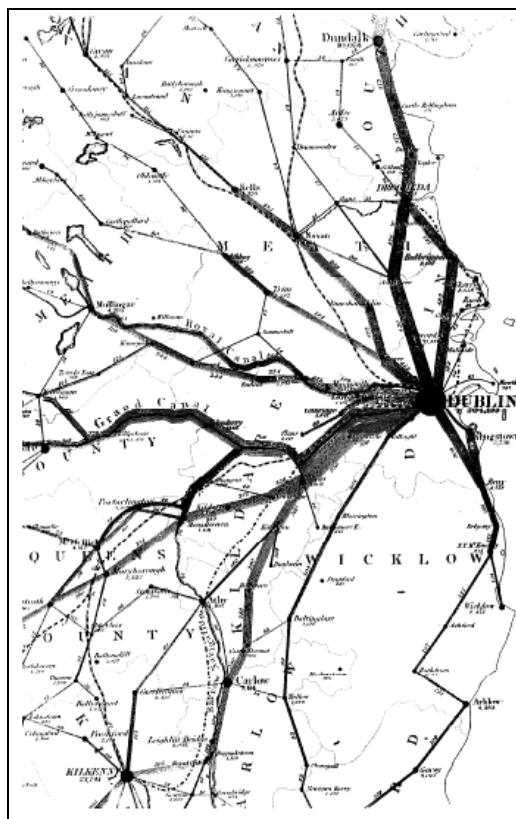


Рис. 2.4. Накладання карт населення, транспортних потоків, геологічної будови та рельєфу на мережу ірландських залізничних доріг

У 1826 р. П'єр Шарль Франсуа Дюпен (рис. 2.5) опублікував першу тематичну карту (рис. 2.6), яка показувала розподіл неписьменності у Франції. Дюпен використав відтінки (від чорного до білого) для штрихування статистичної змінної, перший відомий приклад того, що називається сьогодні картограмою.



Рис. 2.5. Дюпен П'єр Шарль Франсуа

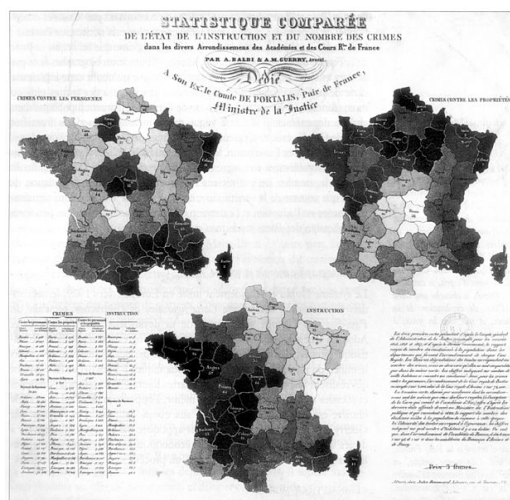


Рис. 2.6. Перші тематичні карти Дюпена

У вересні 1854 р. англійський лікар Джон Сноу (рис. 2.7 а) використав карту місць летальних наслідків холери, накладену на карту центральної частини Лондона (рис. 2.7 б) для пошуку джерела епідемії, яким виявилася заражена водна колонка (рис. 2.7 в) [Goodchild M., Kemp K., 1991].



Рис. 2.7. Застосування просторового аналізу Джоном Сноу (John Snow):
а – лікар Джон Сноу; б – карта центральної частини Лондона з позначеннями місць летальних наслідків холери;
в – водна колонка – джерело виникнення епідемії

Однак це були лише окремі інтуїтивні застосування ГІТ. Дійсний розвиток та використання ГІС і ГІТ почалися в 60-х рр. ХХ ст., що було зумовлене накопиченням великого топографічного досвіду й тематичного картографування, успішними спробами автоматизування картоскладального процесу, а також революційними досягненнями в галузі комп'ютерних технологій, інформатики і комп'ютерної графіки.

Особливо потрібно відзначити ідеї і досвід комплексного тематичного картографування, який переконливо продемонстрував ефект системного використання різнохарактерних даних для отримання нових знань про географічні об'єкти. Саме комплексність та інтегративність ГІС і на сучасному етапі залишаються найважливішою властивістю, яка приваблює користувачів.

2.2. Етапи розвитку ГІС

В історії розвитку ГІС виділяють, з деякою умовністю, чотири етапи [22].

І етап (кінець 50-х – кінець 70-х років ХХ ст., піонерський період) пов'язаний, у основному, з відкриттям на Заході доступу до ЕОМ не тільки математикам і системним програмістам, а й фахівцям з інших галузей. У цей час з'являються нові більш продуктивні ЕОМ, плотери, графічні дисплеї та різне периферійне обладнання.

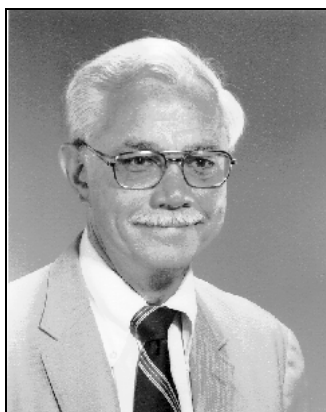
Теоретичні дослідження в галузі географії і просторових даних, упровадження кількісних методів аналізу інформації сприяли появі нового підкласу інформаційних систем, які отримали назву геоінформаційних.

На цьому етапі відбувалися дослідження принципів можливостей ГІС та можливостей суміжних галузей знань і технологій, напрацювання емпіричного досвіду, перші великі проекти та теоретичні роботи. Проте, доволі часто грандіозні ідеї терпіли фіаско через нестачу комп'ютерних потужностей.

У 50–60-х рр. ХХ ст. в картографічному аналізі відбуваються зміни, зумовлені, передусім, появою й удосконаленням графічних апаратних засобів, а також розвитком теорії просторових процесів у економічній і соціальній географії, антропології і краєзнавстві. Треба також відзначити зростаючий інтерес учених до екологічних проблем, характерний для цього періоду, який також стимулював розвиток просторового аналізу.

Як приклад нового підходу до картографічного аналізу, можна навести розроблені в США комплексні транспортні плани Детройта та Чикаго (50–60-ті рр. ХХ ст.), у яких була узагальнена інформація про рух транспорту, маршрути, кінцеві та вихідні станції, тривалість перебування в дорозі. Як наслідок, було створено карти транспортних потоків і обсягів перевезень.

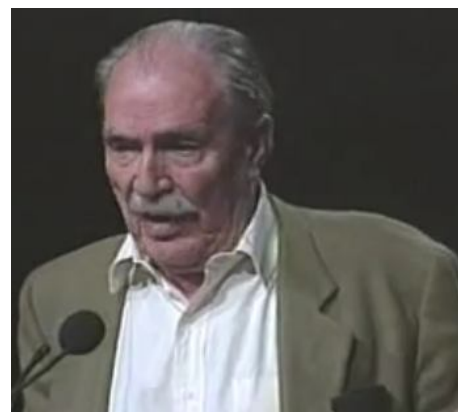
Велике значення для цього періоду мали теоретичні праці в галузі географії і просторових взаємозв'язків, а також становлення комп'ютерних методів просторового аналізу растрових зображень й автоматизованого картографування з використанням плотерів у географії в США, Канаді, Англії, Швеції (праці В. Гаррісона (William Garrison), Т. Хагерстранда (Torsten Hagerstrand), Г. Маккарті (Harold McCarty), Я. МакХарга (Ian McNarg) (рис. 2.8).



Вільям Гаррісон



Торстен Хегерstrand



Ян МакХарг

Рис. 2.8. Піонери ГІС

Роботи Лундської школи. Засновником і визнаним лідером Лундської школи є шведський географ Торстен Хегерstrand (Hagerstrand Т.

Innovation diffusion as a spatial process / Т. Хегерстранд. – Chicago: University of Chicago Press, 1968). Школа розвивається на основі конкретизації та розробки його ідей.

Основні положення, що стали базою формування школи, викладені Хегерстрандом на початку 1950-х і в 1960-ті роки. Учений досліджував процес дифузії нововведень. Проблема займала західних географів і раніше, але Хегерстранд застосував для цієї мети математичні методи, що дозволило отримати чіткі й оригінальні результати. Він вивчив процес дифузії нововведень як хвильове явище. Подібний підхід виявився плідним і для багатьох інших проблем, які стали досліджуватися з позицій їх просторово-часової динаміки.

Заслугою Т. Хегерстранда є і те, що він уперше, ґрунтуючись на емпіричних даних, описав вплив сусідства на просторову дифузію нововведень. Сприйняття нововведень розглядалося з урахуванням психологічних особливостей людей; показано опір прийняттю нововведень; дано математичну модель дифузії; Показані можливості визначення надмірності й недостатності контактів людей з просторово-часової точки зору.

Важливим етапом еволюції наукової школи стало створення в Лунді дослідницької групи з проекту "Використання часу та екологічна організація". В її рамках Хегерстранд зі своїми колегами Б. Ленторпом, С. Мартенсоном, П. Карлстейном та іншими фахівцями провів низку систематичних досліджень (Carlstein T. Time, resources, society and ecology. – Lund: Department of Geography, University of Lund, 1980; Carlstein T., Parkes DN, Thrift NJ (eds.). Timing space and spacing time (three volumes). – London: Edward Arnold, 1980).

Результати більшості цих досліджень найбільш систематично викладені А. Предом (Pred A. Behaviour and location: foundations for a geographic and dynamic location theory. Part I / A. Pred. – Lund: CWK Gleerup, 1967; Pred A. Behaviour and location: foundations for a geographic and dynamic location theory. Part II / A. Pred. – Lund: CWK Gleerup, 1969; Pred A. Industrialization, initial advantage, and American metropolitan growth / A. Pred // Geographical Review. – 1965. – № 55. – P. 158–185; Pred A. The choreography of existence: comments on Hagerstrand's time-geography and its usefulness / A. Pred // Economic Geography. – 1972. – № 53. – P. 207–221).

Важливе значення для формування школи мало те, що Хегерстранд і його послідовники створили англomовний журнал "Lund Studies in Geography. Human Geography", в якому могли оперативнo і доступнo для більшості вчених світу мовою публікувати свої наукові результати.

Принциповими положеннями Лундської школи можна вважати прагнення її прихильників розглядати простір і час у нерозривнoму зв'язку при дослідженні буденної поведінки людини. Важлива і сама орієнтація на дослідження людини в її повсякденній, буденній діяльності.

ГІС Канади. Проте, першим і, безумовно, великим успіхом становлення геоінформатики і ГІС стали розробки та створення у 60-х рр. ХХ ст. Географічної інформаційної системи Канади (Canada Geographic Information System, CGIS). Ця ГІС була побудована на базі перших великих ЕОМ і пакетної системи обробки даних.

"Батьком" ГІС Канади вважається британський географ Роджер Томлінсон (рис. 2.9), під керівництвом якого було розроблено та реалізовано багато концептуальних і технологічних рішень, який спромігся переконати уряд Канади в необхідності створення CGIS. Саме він запровадив термін "*географічні інформаційні системи*".



Рис. 2.9. Роджер Томлінсон (Roger Tomlinson)

Призначення ГІС Канади (CGIS) полягало в аналізі чисельних даних, накопичених канадською службою земельного обліку (Canada Land Inventory) і в отриманні статистичних даних про земельні ділянки, які використовувалися при розробці планів землевпорядкування величезних площ переважно сільськогосподарського призначення.

З цією метою необхідно було створити класифікацію використання земель, використовуючи дані про сільськогосподарську, рекреаційну, екологічну, лісгосподарську придатність земель, відобразити сформовану структуру використання земель, включаючи землекористувачів і землевласників. Найбільш складно було забезпечити ефективне введення початкових картографічних і тематичних даних. Для цього Р. Томлінсону (рис. 2.10) зі своїми помічниками, які не мали досвіду внутрішньої організації великих масивів просторових даних, потрібно було створити нову інформаційну технологію, яка раніше ніде не застосовувалася, дозволяла б оперувати окремими тематичними шарами інформації і виконувати картометричні виміри. Для введення великоформатних земельних планів був навіть спроектований і створений спеціальний скануючий пристрій.

Саме в ГІС Канади була опрацьована технологія розмежування картографічної інформації за шарами (темами) та розроблена концепція

таблиць атрибутивних даних, що дозволило відділити файли просторової (геометричної) інформації від файлів тематичної інформації про ці об'єкти.



Рис. 2.10. Роджер Томлінсон, 2005–2010 рр.

Функціональна схема CGIS представлена на рис. 2.11.

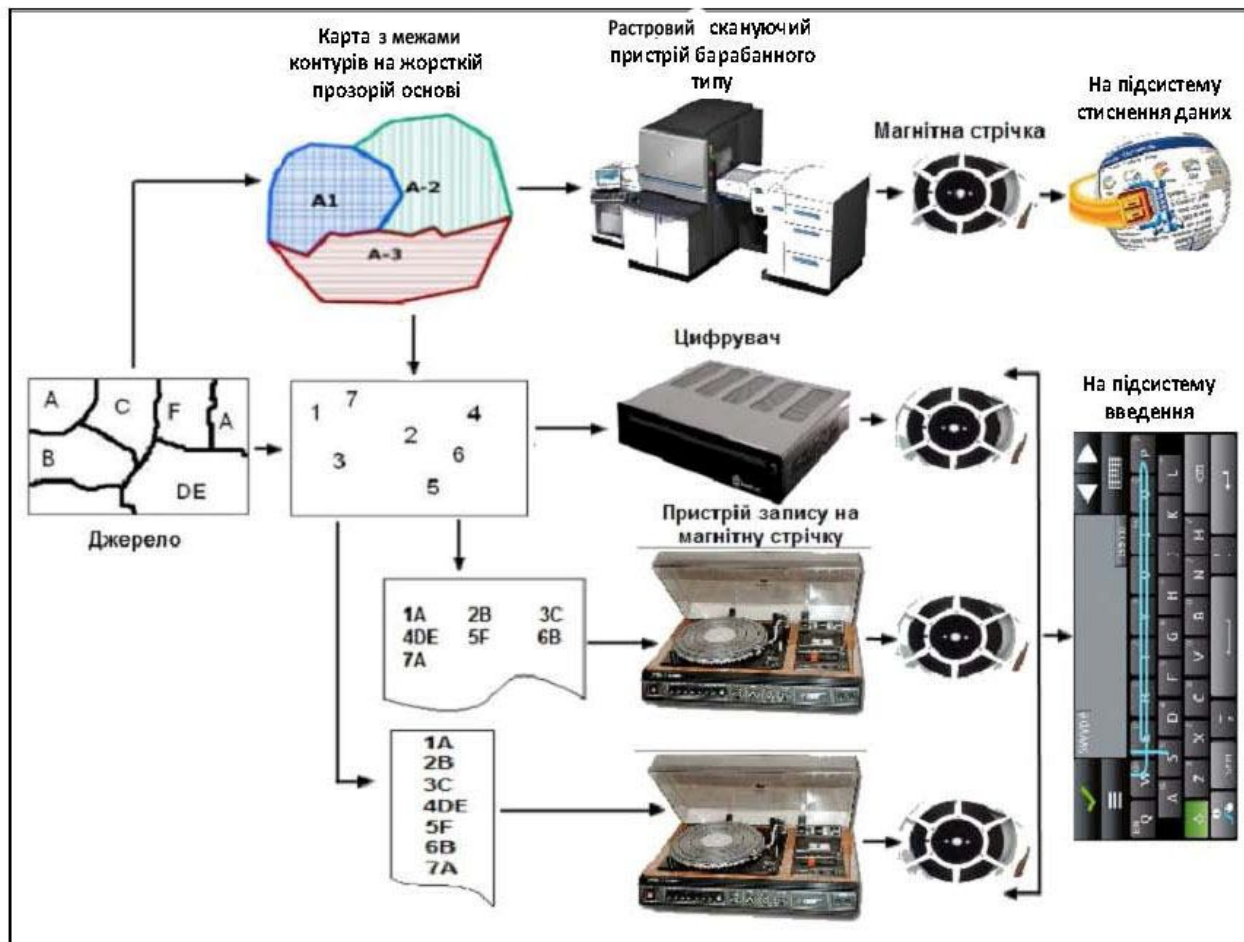


Рис. 2.11. Функціональна схема CGIS

Крім цього, був розроблений математичний апарат для обчислення картометричних показників.

Незважаючи на технічні обмеження, притаманні цьому етапові розвитку, розробники CGIS уже тоді ясно розуміли, що певні види аналізу карт та інвентаризації, в тому числі накладання контурів і визначення площ, на ЕОМ можуть виконуватися значно швидше, ніж вручну.

Що ж принципово нового внесли творці ГІС Канади в становлення і розвиток ГІТ?

- використання барабанного сканера для цифрування даних високої щільності (просторові об'єкти);
 - подання сканерного зображення у векторній формі;
 - географічний поділ даних у вигляді "аркушів" або "мозаїки" з перекриттям уздовж границь;
 - поділ даних за темами або шарами;
 - використання абсолютної системи координат для всієї території країни з точністю, яка відповідала просторовій розрізненності даних;
 - можливість встановлення оператором системи кількості значущих цифр для різних шарів інформації;
 - внутрішнє подання лінійних об'єктів у вигляді ланцюжків покровових переміщень у 8 напрямках (ланцюговий код Фрімена);
 - кодування границь ареалів за допомогою дуги із зазначенням лівого й правого ареалів;
 - наявність "топології" з планарною організацією даних кожного шару і кодуванням взаємозв'язків між дугами й ареалами в базі даних;
 - поділ даних на файли ознак і позиційні файли (місця розташування);
 - дескрипторний набір даних і набір даних зображень;
 - вказівку координат центроїдів об'єктів;
 - концепцію таблиці ознак.
- Варто підкреслити, що в ГІС Канади були реалізовані функції просторового аналізу, які згодом стали стандартними для ГІС: накладання полігонів, вимір площ й організація просторових запитів щодо кіл і полігонів, заданих користувачем.

У 1968 р. в США в інтересах військово-медичної служби був розроблений проект системи автоматизованого картографування інфекційних хвороб MOD (Mapping of disease project). Ця система була розрахована на глобальний масштаб і, крім даних про захворюваність, враховувала різноманітні чинники навколишнього середовища (етнічний склад і щільність населення, температуру та вологість повітря, характер ґрунтів, резервуари і переносники збудників хвороб тощо). Функціонування системи забезпечували 15 чоловік, бюджет роботи яких на 90 % складав добування даних із джерел інформації.

Істотний вплив на розвиток ГІС зробила Гарвардська лабораторія комп'ютерної графіки (рис. 2.12), яка в 1968 р. була перейменована у лабораторію комп'ютерної графіки та просторового аналізу (Harvard

Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетського технологічного інституту, що була створена за підтримки гранту Форда (294 000 дол. США) та різних невеликих внесків з вищої школи дизайну 12 жовтня 1965 р.



Рис. 2.12. Гарвардська лабораторія комп'ютерної графіки

Заснував лабораторію 62-річний Говард Фішер⁹ (рис. 2.13) з метою розробки програмних засобів багатофункціонального комп'ютерного картографування, які стали значним кроком у алгоритмічному вдосконаленні ГІС і використовувалися до початку 80-х рр. ХХ ст.



Рис. 2.13. Говард Тейлор Фішер (Howard Fisher)

Крім Фішера в лабораторії працювала група яскравих, енергійних і експериментально мислячих людей, зокрема міський планувальник Аллан Шмідт (Allan Schmidt), інженер і економіст Петер Роджерс (Peter

⁹Говард Фішер – американський архітектор, винахідник картографічної системи SYMAP (1963 р.), що стала першою автоматизованою системою просторово-аналітичного моделювання та комп'ютерного відображення, яка була заснована на технології прямого друку.

Rogers), Карл Штейнц (Carl Steinitz) (рис. 2.14), архітектор Ален Берхгольц (Allen Bernholtz) та інші.

Дослідження в лабораторії проводилось у двох напрямках. Першим було дослідження можливості аналізу та комп'ютерного графічного подання в просторі і часі розподілених даних. Результатом цих досліджень стало створення першого та найвідомішого в світі програмного пакету SYMAP (Synagraphic¹⁰ Mapping System) – системи багатоцільового картографування, яка реалізувала функції побудови картограм, карт ізоліній і трендових поверхонь у 1964 р.



Рис. 2.14. Петер Роджерс (ліворуч) і Карл Штейнц за роботою в Гарвардській лабораторії комп'ютерної графіки

Фрагменти перших карт, створених програмним пакетом SYMAP, представлені на рис. 2.15.

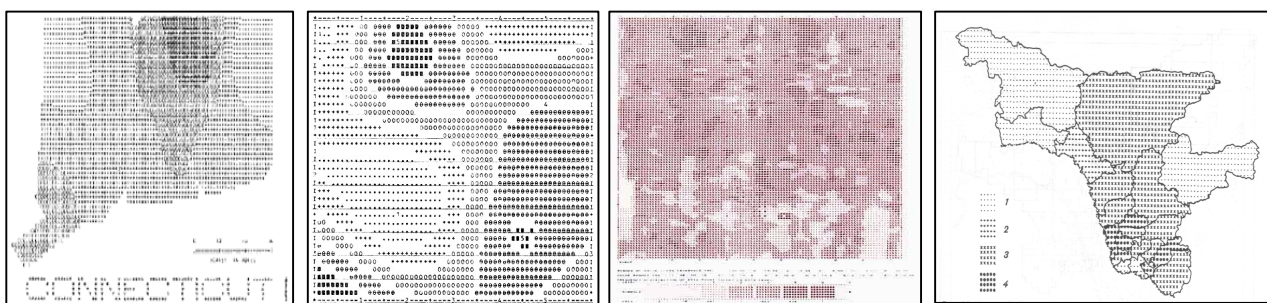


Рис. 2.15. Галерея перших карт, створених програмним пакетом SYMAP

Хоча функціональні можливості SYMAP були доволі обмеженими (виведення результатів на рядково-друкуючий пристрій), це була перша наочна

¹⁰Synagraphic (від грец. *Synagein*) – спільне об'єднання.

демонстрація можливості машинного картографування. Розробка SYMAP викликала величезний інтерес фахівців до раніше невідомих технологій.

SYMAP використовувалась у США понад 10 років у масштабних дослідженнях в галузі охорони здоров'я та демографічних проблем, а також при розв'язку завдань міського планування.

Другий напрям дослідження був пов'язаний із регіональним плануванням, ландшафтною архітектурою та використанням комп'ютерів у програмуванні, дизайні та моделюванні. Як наслідок, Френк Ренс і його команда розробляють програмний комплекс SYMVU, який дозволяє будувати 3D – зображення (рис. 2.16).

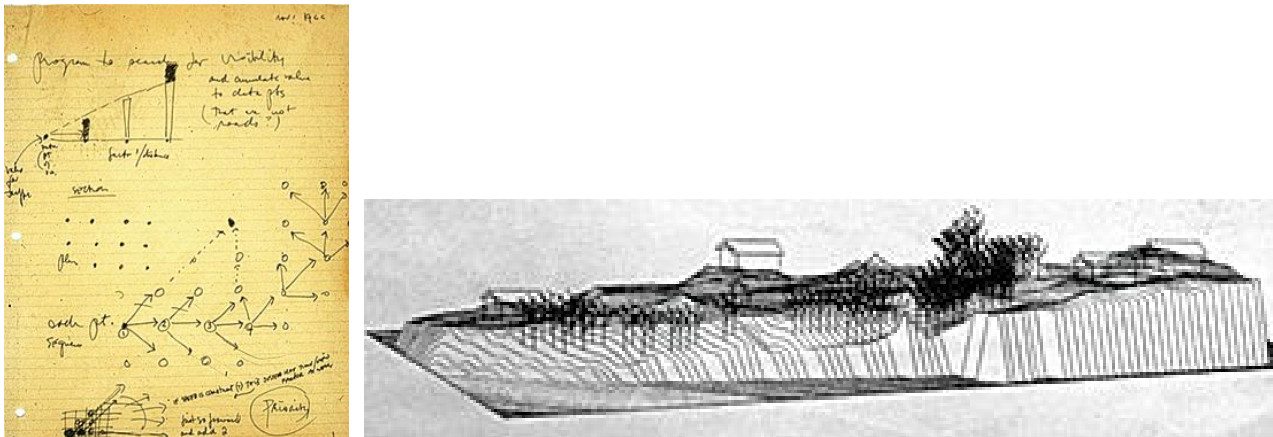


Рис. 2.16. Розробка підходів щодо побудови 3D-зображення

Очевидною перевагою комп'ютерної картографії була можливість вибору ділянки на карті та її швидкого перемальовування (рис. 2.17). На внесення змін до карти, що раніше займало тижні, з впровадженням комп'ютерного картографування тепер затрачувалися хвилини.



Рис. 2.17. Оцінка існуючої привабливості районів для житла з її прогнозуванням та змінами на 5, 10 та 15 років

Інше програмне забезпечення Гарвардської лабораторії: GRID – для роботи з растровими комірками; CALFORM – програми виведення картографічного зображення на плотер; ODYSSEY – попередник відомого ARC / INFO, – досить широко застосовувалось у світі та допомогло створити базу для розвитку багатьох геоінформаційних додатків.

Крім Фішера, в лабораторії працювала ще одна ключова фігура геоінформатики – програміст Чарльз Дана Томлін (рис. 2.18), який заклав основи картографічної алгебри, створивши знамениту родину растрових програмних засобів Map Analysis Package – MAP, PMAP, aMAP.

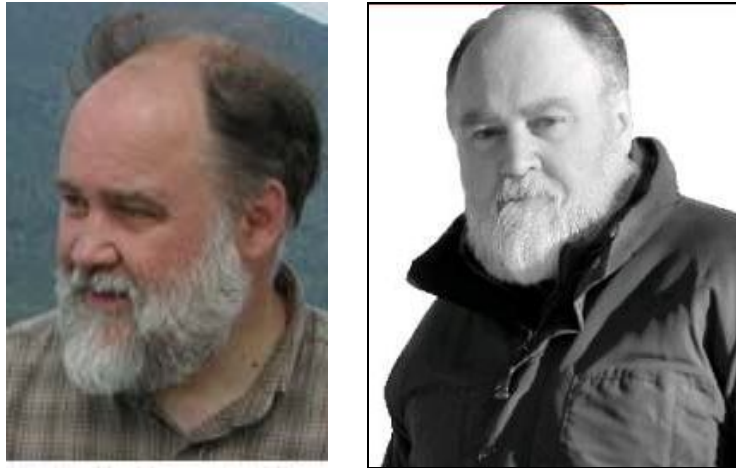


Рис. 2.18. Чарльз Дана Томлін (Charles Dana Tomlin)

На сучасному етапі ці дослідження продовжуються, але в менших масштабах.

Завдяки досягненням Гарвардської лабораторії в галузі комп'ютерного картографування було визначено картографічні моделі даних, картографічний метод досліджень, картографічні способи подання інформації в сучасних ГІС.

CALFORM представляв, по суті, SYMAP на основі графопобудовника. Великим кроком вперед стала можливість для користувача уникнути подвійного кодування внутрішніх границь шляхом уведення таблиці положень точок, а також набору полігонів, що визначались послідовністю ідентифікаторів точок.

У GRID з'явилася можливість множинного введення різних тематичних шарів растрових комірок. Це був перший досвід растрових ГІС. Заслуговує також на увагу реалізація в GRID ідей накладення тематичних шарів, запозичених у ландшафтній архітектурі.

Починаючи з 1971 р., Вільям Уарнц (рис. 2.19), який змінив Г. Фішера на посаді директора Гарвардської лабораторії, продовжив розвиток теорії і методів просторового аналізу на основі комп'ютерної обробки просторових даних.

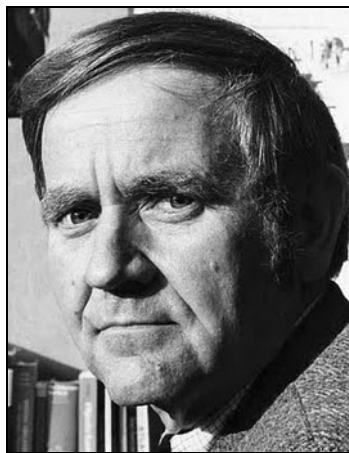


Рис. 2.19. Вільям Уарни, 1967 р.

Під його керівництвом у 70-х рр. ХХ ст. був створений пакет прикладних програм POLYVRT, що об'єднав різні способи формування ареалів, які використовувались у попередніх розробках: SYMAP (кожний полігон окремо, внутрішні границі двічі), CALFORM (таблиця положень точок) і списки ідентифікаторів DIME. Пакет POLYVRT був пакетом програм для машинного картографування, який забезпечував гнучке введення і міжсистемний обмін файлами границь, а також збільшення кількості цифрових даних, наприклад, із Бюро переписів.

Вершиною творчого пошуку розробників із Гарвардської лабораторії став пакет ODYSSEY (середина 70-х рр. ХХ ст.), у якому ідея POLYVRT була розширена від перетворення форматів до створення комплексного аналітичного пакета, що ґрунтувався на векторних даних. Необхідно відзначити, що багато розробників майбутніх ГІС "виросли" саме в Гарвардській лабораторії. Лабораторія стала колицкою багатьох ідей і дала світу багато відомих фігур геоінформаційної індустрії, які суттєво вплинули на розвиток геоінформатики. Як приклад, можна згадати Скотта Морхауса (рис. 2.20), перехід якого в ESRI став сполучною ланкою між ODYSSEY і розробкою ARC / INFO.



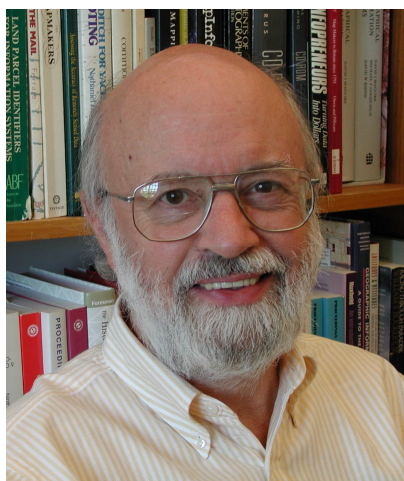
Рис. 2.20. Скотт Мархаус

Третім великим успіхом становлення геоінформатики та ГІС стало Бюро перепису США (U.S. Census Bureau) – одна з організацій, яка відіграла ключову роль у розвитку ГІС.

Наприкінці 60-х рр. XX ст. у державних структурах США сформувалося переконання необхідності використання ГІТ для обробки й подання даних національних переписів населення (US Census Data). Для цього потрібна була методика, яка б забезпечувала коректну географічну "прив'язку" даних перепису. Основною проблемою стала необхідність конвертування адрес проживання населення, в анкетах перепису в географічні координати таким чином, щоб результати перепису можна було б оформлювати у вигляді карт територіальних ділянок і зон національного перепису.

Бюро розробило формат GBF-DIME (Geographic Base File, Dual Independent Map Encoding). Історія GBF-DIME почалася у лютому 1967 р., коли Бюро перепису США зайнялось експериментами з комп'ютерного картографування. Програмісти Бюро боролися з неефективністю і надлишковістю інформації при конвертуванні паперових карт у цифрові. Проблема полягала в тому, що кожне перетинання вулиць (а в містах США часто зустрічається решітчаста система, коли вулиці утворюють сітку з вулиць (street) та авеню (avenue)), вводилось рівно вісім разів.

За словами Дональда Кука (рис. 2.21), який на той час був програмістом Бюро, проблема була подолана завдяки принципам картографічної топології, запропонованій математиком Бюро – Джеймсом Корбеттом (James Corbett).



*Рис. 2.21. Дональд Кук
(Donald Cooke)*

У цьому форматі GBF-DIME (рис. 2.22) вперше була реалізована схема визначення просторових відношень між об'єктами, що називається *топологією* й описує: як лінійні об'єкти на карті з'єднуються між собою,

які площинні об'єкти межують один з одним, а які об'єкти складаються із суміжних елементів.



Початковий вузол		Кінцевий вузол		Ділянки		Адреса ліворуч		Адреса праворуч	
Вузол карти		Вузол карти		Лівий	Правий	Нижній	Верхній	Нижній	Верхній
3	21	3	22	88	90	111	1999	102	198 20

Рис. 2.22. Формат GBF-DIME

Саме тут вперше були пронумеровані вузлові точки, присвоєні ідентифікатори площам за різними боками ліній. Це стало революційним нововведенням у ГІС.

Таким чином, була створена схема кодування DIME, для якої були визначені прямокутні координати перехресть, що поділяли вулиці всіх населених пунктів США на окремі сегменти.

Основна ідея полягала в тому, щоб перенумерувати вузли (в даному випадку – перетинання вулиць і площ (кварталів)). Влітку 1967 р. нововведення довели свою ефективність на практиці – різко підвищилася ефективність цифрування й виявлення похибок і з'явилася основа для картографування результатів перепису.

Події розвивались стрімко. Через три місяці після початку перших спроб з топології, Д. Кук і Максфілд (Maxfield) виступили на конференції з доповіддю, а Національне бюро переписів США розробило комплексний підхід до "географії переписів". 1970 рік – рік чергового Національного перепису США, який проводиться раз на десять років, – уперше став роком "географічно локалізованого перепису". Алгоритми обробки й подання картографічних даних були запозичені в розробників ГІС Канади і Гарвардської лабораторії та оформлені у вигляді програми POLYVRT (рис. 2.23), яка здійснювала конвертування адрес проживання у відповідні координати, що описували графічні сегменти вулиць.

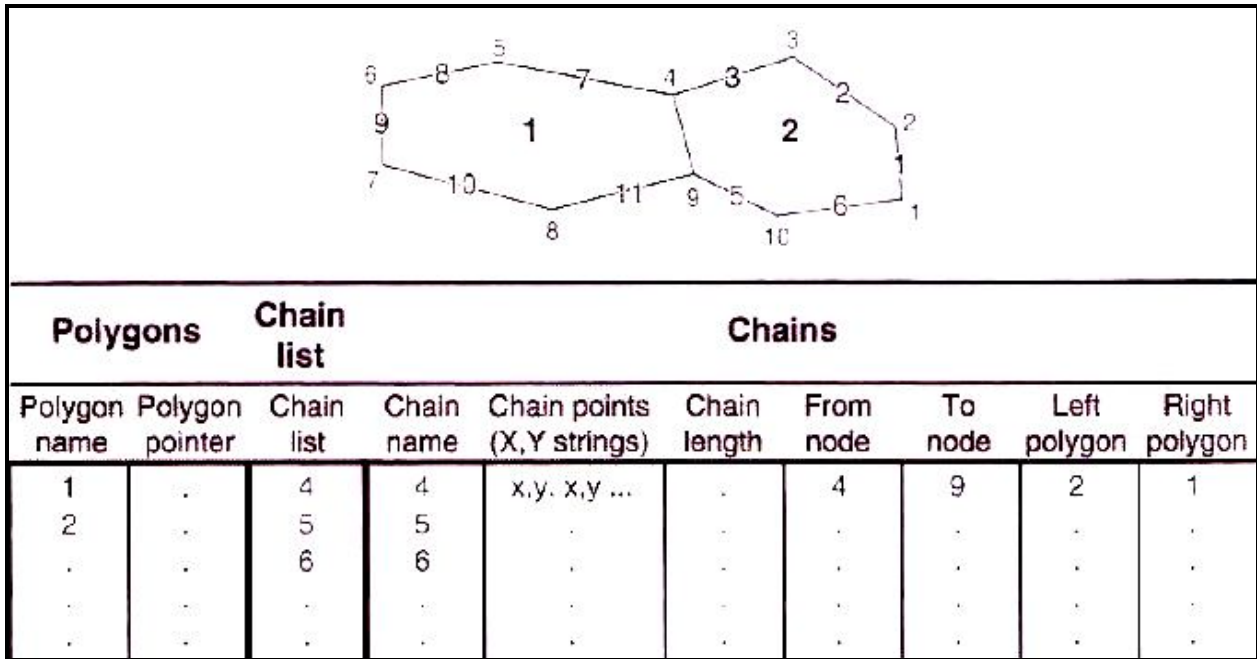


Рис. 2.23. Модель POLYVRT

По сутті, файли DIME дублювали дугову структуру ГІС Канади та внутрішню структуру POLYVRT (формат загального знаменника).

Файли DIME широко використовувалися і стали основою для розв'язку різних прикладних задач. Топологічні ідеї DIME згодом були удосконалені при створенні нової моделі файлів – TIGER (рис. 2.24), у якій використовувалася планарна організація даних¹¹ із комірками 0-го, 1-го і 2-го порядків.

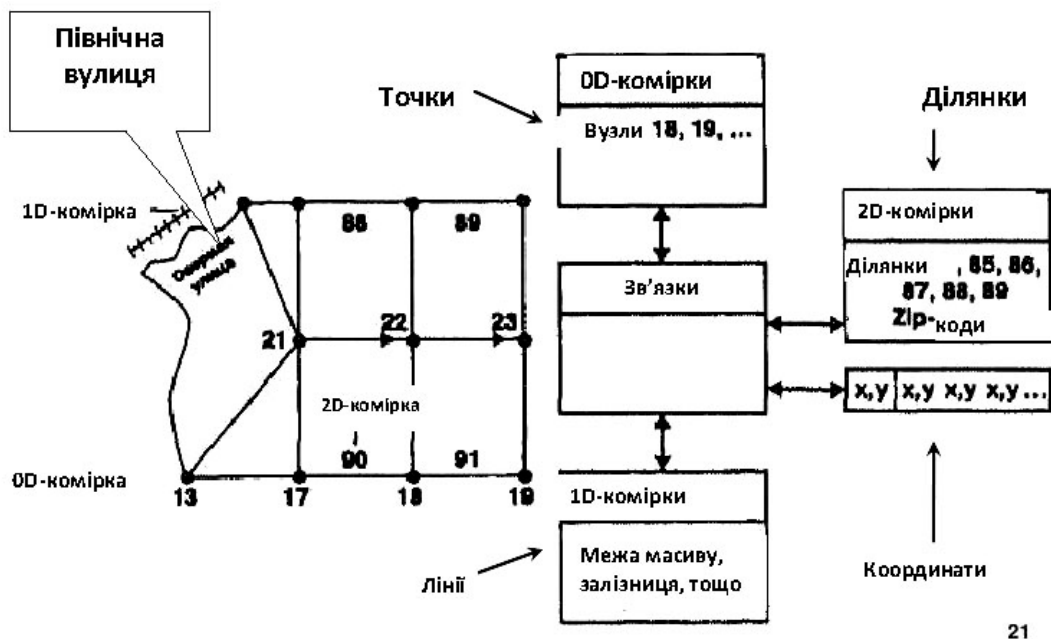


Рис. 2.24. Модель TIGER

¹¹Планарний граф – граф, який може бути зображений на площині без перетину ребер.

Моделі DIME і TIGER сприяли розробці цілого ряду програмних продуктів, заснованих на базах даних про вуличну мережу, а саме:

- системи автомобільного руху;
- посібників для водіїв (наприклад, в агентствах з прокату автомобілів);
- прокладці маршрутів руху сміттєвозів;
- диспетчеризації машин аварійних служб.

Після перепису 1970 р. стали створюватися атласи міст, засновані на застосуванні цифрових файлів границь, розроблених у Бюро переписів США. Особливу популярність набули атласи машинних карт за окремими позиціями перепису для деяких міст. Це послужило наочною ілюстрацією значення нескладних машинних карт для цілей маркетингу, роздрібної торгівлі та стимулювало розробку всього набору сучасних програм статистичного картографування для комп'ютерів. Одночасно на основі цієї інформації була створена серія атласів великих міст, а також велика кількість спрощених комп'ютерних карт для автомобілістів. Як приклад, на рис. 2.25 наведені фрагменти комп'ютерних карт і атласів.

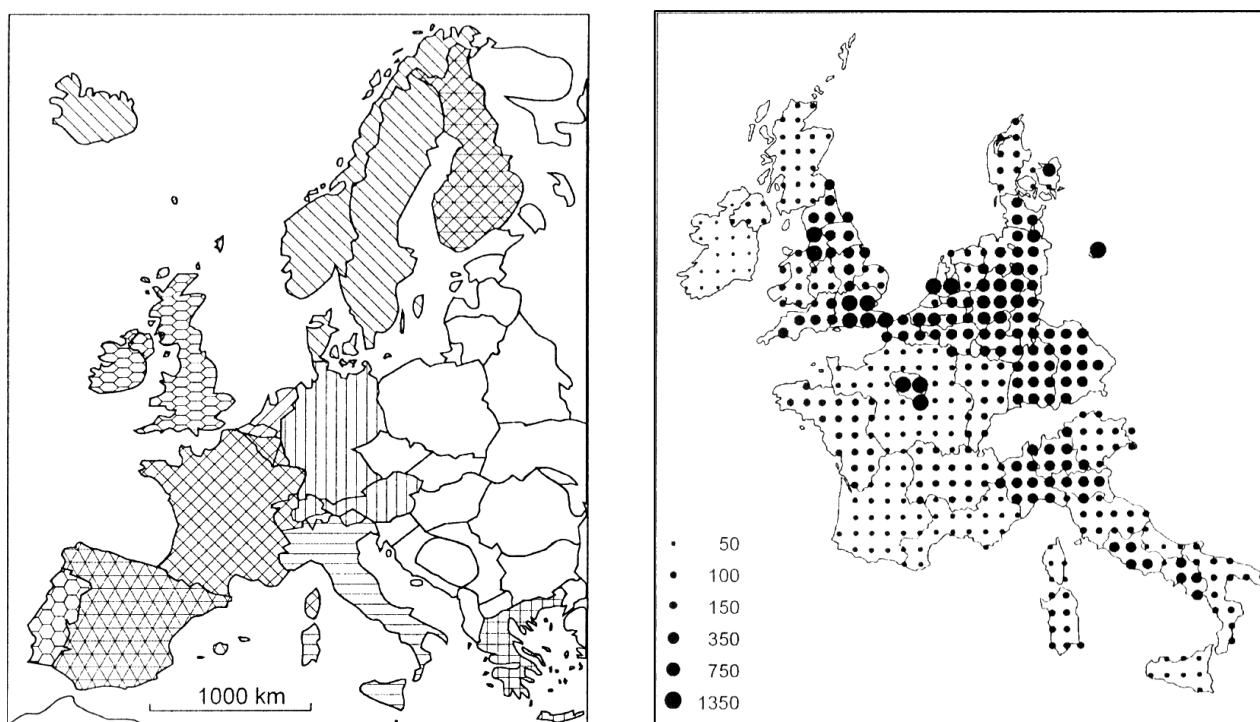


Рис. 2.25. Комп'ютерні карти й атласи

Протягом 70-х рр. XX ст. карти у форматі GBF-DIME були створені для всіх міст США. Цю технологію і сьогодні використовує більшість сучасних ГІС. На думку фахівців, відкриття з топології було визнано так швидко ще й тому, що автори зробили доповідь у потрібний час і в потрібному місці.

У цей же період у багатьох штатах почалися розробки земельних ГІС, що було пов'язано зі споконвічним прагненням американців збирати податки. Взагалі, саме податки, а точніше, небажання одних їх сплачувати і мрія інших збирати їх якомога більше, відіграли (і відіграють) важливу роль в історії США. ГІС не залишились осторонь від цієї проблеми.

Більшість з них були схожими одна на одну, тільки ГІС штату Міннесота відрізнялася певними особливостями. Однак головне полягало в тому, що вперше справу створення системи було доведено до логічного кінця і система засвідчила свою ефективність. Система була растровою (рис. 2.26), з крупним зерном растру (трохи більше 0,16 км²), однак виявилася дуже ефективною.

Земельна інформаційна система (ЗІС) вищезгаданого штату почала розроблятися у середині 60-х рр. ХХ ст. як спільний проект Центру міських і регіональних проблем штату Міннесота, Університету штату Міннесота та Агентства планування цього ж штату.

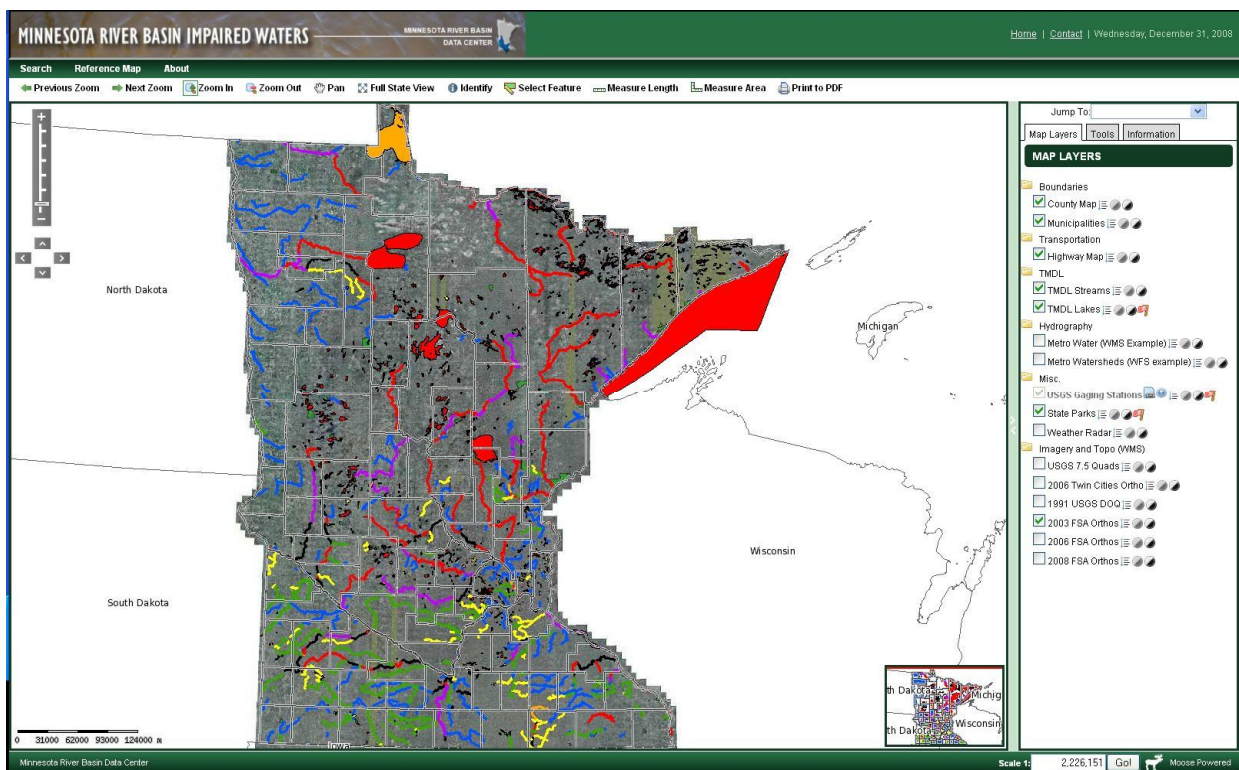


Рис. 2.26. ЗІС штату Міннесота

Четвертим суттєвим успіхом геоінформатики і ГІС стали застосування нерегулярної триангуляційної мережі у військових дослідженнях.

Нерегулярна триангуляційна мережа відображає рельєф певної території у вигляді набору прилеглих один до одного трикутників. Ця технологія була одночасно запропонована декількома дослідниками у різних частинах світу. Один з них – Томас Пюкер (рис. 2.27) – доволі відома фігура в географічних колах СНД.



Рис. 2.27. Томас Пюкер (Thomas Poiker)

Його статтю "Вплив різних математичних підходів на зображення рельєфу дна океанів" можна прочитати в третьому томі книги "Картографія", що була опублікована у 1988 р. видавництвом "Прогрес" (Москва).

Цифрові моделі рельєфу у вигляді нерегулярної триангуляційної мережі будувалися в Simon Fraser University, який виконував замовлення відділу військово-морських досліджень US Defense Department. Основне завдання проекту – розв'язок проблеми збігу реального гіпсометричного профілю визначеної території (профілю висот) з моделлю, закладеною в комп'ютер, тобто це була задача точного наведення ракет на ціль.

Крім названих, відомі ще такі винахідники нерегулярної триангуляційної мережі: консультаційна фірма з Огайо W. E. Gates and Associates, геолог Крістофер Голд і Університет провінції Альберта (Канада). Ще один винахідник знаходився в Європі, однак історія не зберегла для нас його ім'я. При цьому, палкі дискусії про те, чи незалежно всі вони проводили свої дослідження, чи займались плагіатом один одного, не втихають і нині. Але це вже інша історія...

У цей же період також удосконалювалися методи аналізу просторових даних і технологій їх кодування і візуалізації. Зокрема були розроблені теоретичні основи геостатистики (Ж. Матерон, рис. 2.28), технології графічного зображення тривимірних поверхонь [83].

Одночасно аналогічні роботи проводились і в інших наукових центрах Північної Америки та Західної Європи. Як уже згадувалось, у лабораторії Дана Томліна заклали основи картографічної алгебри (1983 р.), створивши відому родину растрових програмних засобів MAP (Map Analysis Package) – MAP, PMAP, aMAP. Характерно, що ці пакети розповсюджував Йельський університет за символічною ціною (приблизно за 20 дол. США). Одним із похідних програмних продуктів, що вільно поширювались у

мережі Інтернет, був OSU-MAP, створений в Університеті штату Огайо вихідцями з Гарвардської лабораторії.

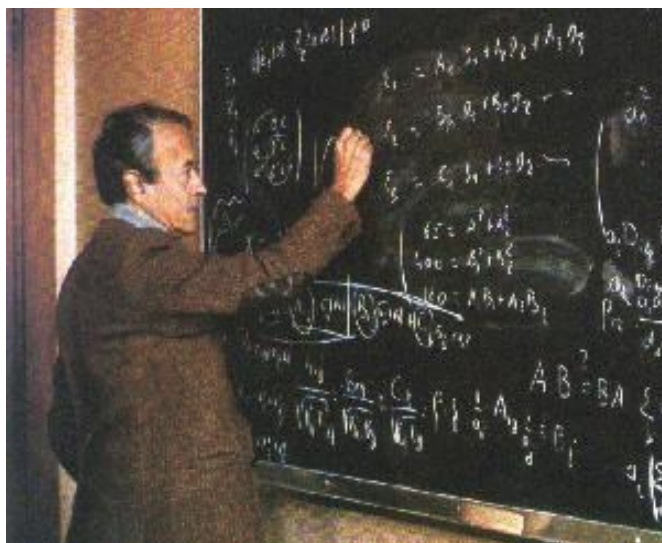


Рис. 2.28. Засновник геостатистики, професор Жорж Матерон, Франція

В Європі перша автоматизована картографічна система була створена у Великій Британії під керівництвом Д. Бікмора в 1964 р. [22]. У Франції наприкінці 60-х рр. ХХ ст. була створена кадастрова інформаційна система "Мажіс".

У Європі перші ГІС були створені в Швеції. Методичні основи цих розробок були закладені в працях О. Саломонссона і Т. Германсена у 1976 р. Основним напрямом шведської школи геоінформатики було створення ГІС земельно-облікової спеціалізації, зокрема Шведського земельного банку даних, автоматизація обліку земельних ділянок і нерухомості.

До середини 1970-х рр. у Швеції на стадіях розробки й експлуатації перебували 12 інформаційних систем різного рівня [Computer cartography..., 1977]. Перевагою цих робіт стала участь у них науково-дослідних колективів, у тому числі професійних географів (Університет Лунда), що дозволило закласти в розробки фундаментальні принципи ГІС, зокрема ознаку простору (атрибути місця розташування об'єктів). У цих розробках вперше був широко використаний топологічний підхід до організації управління географічною інформацією, яка містить математичний спосіб опису просторових взаємозв'язків між об'єктами.

У 70-х рр. ХХ ст. в колишньому СРСР географи І. П. Герасимов, Ю. Г. Саушкін, С. Б. Лавров, В. С. Преображенський підняли питання про необхідність використання географічного підходу для розв'язку задач територіального планування, раціонального використання природних ресурсів, природоохоронної діяльності.

У зв'язку з колосальними обсягами текстової та графічної інформації, модельних розрахунків, якісної графіки, які вимагали ГІС, гострою проблемою став дефіцит машинних ресурсів. Це стримувало широке поширення ГІС, зумовлене високою вартістю виконання, впровадження і супроводження проектів. Функціональна обмеженість ГІС "першого покоління" (відсутність чи примітивність графічної і картографічної інформації) мала й суто технічні причини: нерозвиненість периферійного обладнання (дисплей ще не став звичним атрибутом ЕОМ) на великих і потужних, але дуже коштовних ЕОМ, неможливість перенесення програмного забезпечення, критичність обчислювальних ресурсів щодо обсягу даних і часу виконання завдань. Проте, ядро ГІТ вже було сформоване на рубежі 60-х і 70-х рр. ХХ ст., визначивши структуру ГІС першого покоління.

Таким чином, характерною рисою ГІС першого покоління була тенденція до посилення міждисциплінарних зв'язків у середовищі розробників. Однак ці первісні ініціативні проекти та дослідження, географічно розподілені по багатьох наукових центрах, виконувалися на базі потужних, але дуже коштовних ЕОМ, внаслідок чого, вони були найчастіше системами унікальними, з обмеженим колом користувачів. Роботи в цих центрах здійснювалися, як правило, незалежно, часто без згадування і навіть з ігноруванням подібних досліджень. Можливості ГІС "першого покоління" мали дуже обмежені можливості через нерозвиненість технічних засобів (апаратного забезпечення). Дисплей як засіб візуалізації інформації для оператора комп'ютера, став активно застосовуватися лише у середині 1970-х рр. Надзвичайно слабо були розвинені необхідні периферійні пристрої (сканери, принтери, плотери тощо).

II етап (80-ті рр. ХХ ст., комерційний період). У другій половині 70-х років – на початку 80-х рр. ХХ ст. уряди багатьох країн, приватні фірми, зокрема США і Західної Європи, побачили перспективу використання ГІС і почали інвестувати в розробку цих технологій значні кошти. Крім того, розробка та широке поширення відносно недорогих персональних комп'ютерів із графічним дисплеєм дозволили відмовитись від "пакетного" режиму обробки даних.

На цьому етапі спостерігається бурхливий розвиток великих геоінформаційних проектів, створюються сотні комп'ютерних програм і систем. Це сприяло децентралізації досліджень у галузі ГІТ та інтеграції міждисциплінарних досліджень. Характерним є зростання наукової, політичної та комерційної зацікавленості до ГІС, що було зумовлено усвідомленням необхідності створення державних інтегрованих ГІС для вирішення задач управління територіями, природними ресурсами, моніторингом навколишнього середовища. Як приклад на рис. 2.29 *а* представлений атлас населення Франції, а на рис. 2.29 *б* – атлас населення та помешкань Австралії.

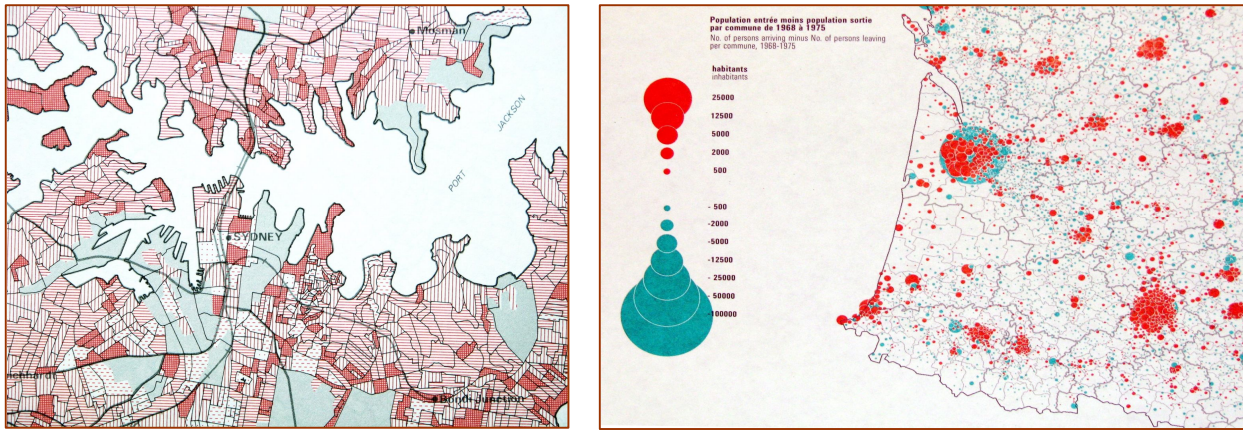


Рис. 2.29. Атласи: а – населення Франції (*Population française, 1980*); б – населення і помешкань Австралії (*Atlas population and housing, 1981 census*)

На рис. 2.30 представлений комплексний соціально-економічний атлас Швейцарії, а на рис. 2.31 – атлас природного середовища о. Лорд-Хау, Ісландія.

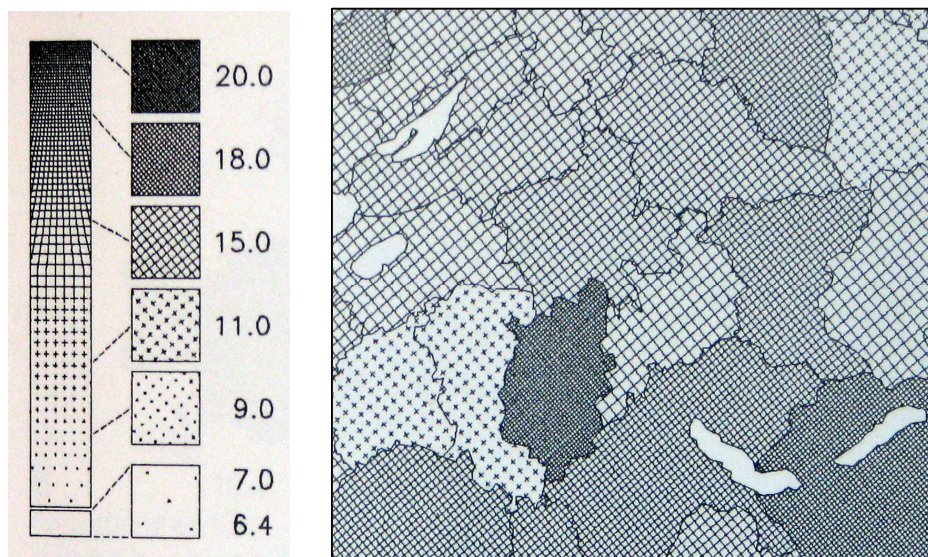


Рис. 2.30. Комплексний соціально-економічний атлас Швейцарії (*Structuratlas Schweiz, 1985*)

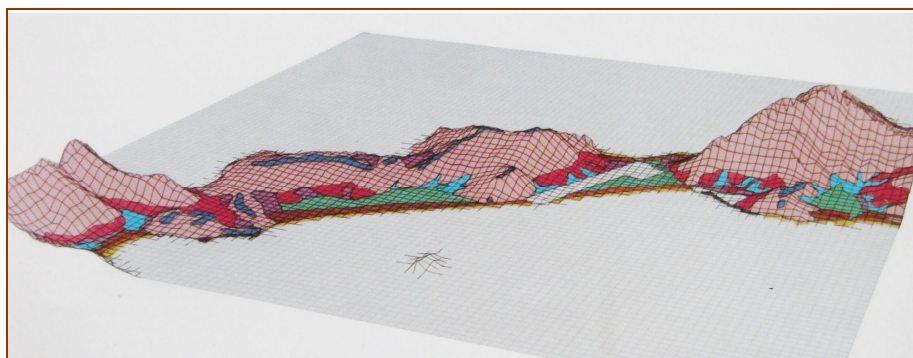


Рис. 2.31. Атлас природного середовища о. Лорд-Хау, Ісландія (*Lord Howe Island: Regional environmental study, 1985*)

Показовими для цього періоду фактами є офіційне визнання, наприклад, у Великій Британії в 1984 р. методів обробки просторових даних науково-дослідними пріоритетами (Jackson et al., 1990) і створення у США Національного центру географічної інформації й аналізу (NCGIA) Національної академії наук (1987 р.), призначеного для проведення базових досліджень у галузі географічного аналізу з використанням ГІС. Іншим прикладом є підтримка урядом США Інформаційної системи природних ресурсів штату Техас (1976 р.), формування державних інститутів у галузі ГІС.

У 80-х рр. ХХ ст. з'являються системи керування просторовими даними, які дозволили поєднати картографічну інформацію і традиційні бази даних. З цього моменту користувачі одержали можливість відображати на карті не тільки власне географічну інформацію, а й взагалі будь-які матеріали, що мають просторову складову.

Наприкінці 80-х рр. ХХ ст. з'являються перші природоохоронні ГІС. Як приклад, на рис. 2.32 представлені фрагменти атласу навколишнього середовища Західного Берліна.



Рис. 2.32. Атлас навколишнього середовища, Західний Берлін
(*Umweltatlas Berlin, 1986–1987*)

У цей же період відбувається зменшення ролі та впливу окремих дослідників-особистостей і невеликих наукових груп на розвиток ГІС. Поступово накопичується велика кількість статистичних даних у друкованій формі, координованих у просторі, тобто створюються необхідні умови для розробки ГІС. Починається випуск міжнародних періодичних видань,

присвячених різним теоретичним і прикладним аспектам використання ГІС, у тому числі: теоретичний "International Journal Geographical Information System" (Міжнародний журнал географічних інформаційних систем) – з 1987 р.; журнал "GIS World" (ГІС світ) – з 1988 р.; "Geo Info System" (Геоінформаційні системи) – з 1990 р.; "GIS Europe" (ГІС Європа) – з 1992 р. тощо. Щорічно проводиться велика кількість наукових і науково-практичних конференцій різного рівня (від регіональних до всесвітніх) присвячених ГІС.

Важливу стимулюючу роль у посиленні інтересу до ГІС викликало прагнення асимілювати для вирішення як наукових, так і практичних завдань, у тому числі й на комерційній основі, накопичених до того часу значних масивів даних ДЗЗ [22; 52].

У цей період відбувалось зближення між автоматизованими картографічними системами і ГІС, яке зумовило подальшу їх інтеграцію. Поступово, зважаючи на появу відповідного програмного забезпечення і спеціального обладнання, відбувалися ускладнення систем.

З появою фотограмметричних графопобудовників (plotter) був досягнутий значний прогрес у кодуванні цифрових даних. У цей час набули широкого застосування дані, які надходили з датчиків, що працювали на орбітальних і геостационарних супутниках, таких, як LANDSAT, а пізніше SPOT. Однак, ГІС залишалися ще прерогативою великих організацій, в основному національних агенцій.

У 1970-х рр. і навіть на початку 1980-х рр. основна діяльність із комп'ютерної обробки даних ДДЗ у світі була зосереджена в обмеженому колі організацій: у безпосередніх постачальників даних, тобто у тих, хто приймав і поширював інформацію з космічних супутників, або у великих науково-дослідних установах, найчастіше військового або астрономічного профілю, пов'язаних з космічними дослідженнями Землі і планет або з проблемами обробки зображення. Такі організації відрізнялися передовим технічним оснащенням. Незважаючи на те, що працювали в таких організаціях доволі великі наукові колективи, переваги надавалися розробкам методів обробки зображення. Здійснювали такі розробки, головним чином, математики і програмісти, а не представники прикладних наук (географи, геологи, лісники, ботаніки, ґрунтознавці).

Зазвичай, результатом робіт таких колективів були унікальні пакети програм, а не комерційні універсальні продукти. У виробничих обсягах здійснювалася, як правило, лише попередня обробка ДДЗ. Тематичне дешифрування мало в основному характер наукового експерименту. Однак треба відзначити, що більшість прийомів і методів обробки зображення, притаманних сучасним пакетам прикладних програм для роботи з ДДЗ, були розроблені й апробовані саме в 1970–80-х рр. Лише наприкінці 80-х рр. ХХ ст. з'явилися перші комерційні системи для обробки ДДЗ. Особливо

визначалася розробка американської компанії ERDAS з м. Атланта, яка відразу ж стала лідером у цьому секторі ринку. З інших досягнень також треба назвати роботи канадського колективу PCI (пакет EASI / PACE) й австралійської фірми Earth Resource Mapping (система ER Mapper).

Таким чином, наприкінці 80-х років XX ст. сформувалася світова геоінформаційна індустрія, яка включала апаратні й програмні засоби ГІС та їх обслуговування. Наприклад, у 1988 р. тільки прямі витрати за цими статтями у світі перевищували 500 млн дол. США, а в 1993 р. витрати склали близько 2,5 млрд дол. США (Ottens, 1992).

У цей же період стає зрозумілим, що інтенсивному розвитку нового напрямку не вистачає професійних геоінформатиків, готових до розробки й експлуатації технологій, які так швидко розвиваються. Це призвело до розробки Національним Науковим Фондом США Проекту курсу навчання ГІС NCGIA. Проект ґрунтувався на концепції необхідності розробки навчальних матеріалів, що будуть широко розповсюджуватися серед педагогів, які викладають ГІС.

У проекті навчального курсу були зібрані воедино та формалізовані всі раніше розроблені матеріали, а також був визначений обов'язковий набір тем.

Після двох років апробації даного курсу почалося його бурхливе поширення [92]. Базовий курс (близько 1000 сторінок) придбали багато навчальних закладів світу. Понад 70 країн за 5 років придбали понад 1300 копій даного навчального курсу, який був перекладений багатьма мовами світу. На кінець 80-х рр. XX ст. у світі вже було зареєстровано понад 450 університетів США, Європи та Австралії, які надавали можливість отримання геоінформаційної освіти. Курси з ГІС також були включені до переліку обов'язкових дисциплін департаментів лісового господарства, екології, архітектури, регіонального планування, геології, екологічних досліджень тощо [93]. Крім того, в багатьох університетах з'явилася потреба у викладачах ГІС і в реорганізації багатьох дисциплін для включення у них курсу ГІС.

Потужний інтеграційний потенціал ГІТ почав реалізовуватись із середини 80-х рр. XX ст. у низці міжнаціональних і глобальних проектів з моніторингу природного середовища, таких, як CORINE – Геоінформаційна система країн Європейського Співтовариства (з 1985 р.) і GRID – Глобальний ресурсний інформаційний банк даних (з 1987 р.) [83].

Розробка проекту CORINE почата відповідно до рішення ЄЕС від 27 квітня 1985 р.

Система містить понад 40 шарів інформації, включаючи топографію, адміністративні кордони, кліматичні дані (більше ніж 6,5 тисяч метеорологічних станцій), дані по земельних і водних ресурсах, рослинному та тваринному світу. Особливу увагу приділено оцінці ризику несприятливих

природних і антропогенних явищ, таких, як сейсмічна активність, водна ерозія ґрунтів тощо, а також джерелами зосередженого техногенного забруднення природного середовища. Зокрема, до складу CORINE входить проект з атмосферного повітря – CORINAIR, що охоплює проблеми викидів діоксиду сірки, оксидів азоту та летючих органічних сполук у країнах ЄС. При цьому до уваги береться близько 120 видів господарської діяльності. Програмне забезпечення проекту CORINE здійснюється з використанням геоінформаційних пакетів ARC / INFO для масштабу 1:1000000 і SICAD – для масштабу 1:300000.

Проект GRID розробляється з 1988 р. низкою країн-учасниць (Канада, США, Норвегія, Швеція та іншими), Міжнародних та національних організацій (НАСА, Інститут досліджень природних систем – ESRI, Женевський університет та інші). Програмне забезпечення GRID здійснюється за допомогою пакета ЕЛАС, розробленого в НАСА для обробки даних дистанційного зондування та геоінформаційного пакета ARC / INFO, розробленого ESRI (США).

У 80-х рр. ХХ ст. в США створюються програмні геоінформаційні пакети (інструментальні ГІС), майбутні лідери світового геоінформаційного забезпечення: пакет ARC / INFO, розроблений Інститутом досліджень систем навколишнього середовища (Environmental System Research Institute ESRI Inc.) (1982 р.); пакет MapInfo фірми Mapping Information Systems Corp. (1987 р.); пакет IDRISI, розроблений в Університеті Кларка (1987 р.); пакет Modular GIS Environment (MGE) фірми Intergraph (1988 р.).

Wilderness Society та Sierra Biodiversity Institute виконали вперше картування вікових лісів із використанням ГІТ, аеро- та космічного знімання. На початку 90-х рр. ХХ ст. Служба риби і дичини США (U. S. Fish and Wildlife Service) розпочала аналіз системи природних територій із застосуванням ГІС (GAP-аналіз), її відповідності розмаїттю екосистем у штатах США.

Однак усі ці кроки все ще вимагали дорогих програмних і апаратних засобів (високопродуктивних робочих станцій) і не досягали рівня масових технологій.

У 90-х рр. ХХ ст. з'являються інтелектуальні інформаційні системи, що використовують одночасно візуальні та звукові образи, різноманітні мультимедійні можливості.

Одне з останніх досягнень у галузі ГІС – побудова віртуальних світів, при цьому ГІС забезпечує тривимірну візуалізацію.

На сучасному етапі розвитку ГІС виділилось декілька світових лідерів у виробництві геоінформаційних додатків:

- ArcGIS від ESRI (США);
- MapInfo від Pitney Bowes Business Insight (США);

- GeoMedia від Intergraph (США);
- Bentley MicroStation від Bentley Systems (США) та інші.

Історія ESRI. Компанія ESRI – Environmental Systems Research Institute – Інститут досліджень систем навколишнього середовища (<http://www.esri.com/>) була заснована в 1969 р. Джеком і Лаурою Данжермонд (рис. 2.33), як консультативна група на базі теоретичних ідей і методів, розроблених у Гарвардській лабораторії та інших організаціях [Goodchild M., Kemp K., 1991].



Рис. 2.33. Джек і Лаура Данжермонд (Jack and Laura Dangermond) під час заснування ESRI у 1969 р. (ліворуч) і в 2007 р. (праворуч)

Бізнес починався з 1100 доларів США їх особистих збережень і керувався з Редланда (шт. Каліфорнія), міста, в якому виріс Джек Данжермонд.

Спочатку Джек Данжермонд сформував службу, яка надавала послуги з реалізації геоінформаційних методів і технологій з урахуванням наукового підходу. Маючи освіту в галузі планування міських територій, він представив їх наукове обґрунтування у своїй дисертації. На першому етапі це був достатньо простий процес математичного аналізу даних. Накопичений досвід дозволив Джеку Данжермонду в 1969 р. зібрати команду фахівців і створити ESRI, Inc., президентом якого він є і дотепер.

Оскільки у 70-х рр. XX ст. розвиток ГІС йшов у напрямі використання й удосконалення різних растрових і векторних систем, компанія ESRI займалась розробкою програмного забезпечення, яке дозволяло вводити дані, редагувати їх, організувати розподілені потоки, аналізувати й отримувати на виході заданий результат. ESRI сфокусувалася на розвитку фундаментальних ідей ГІС та їх застосуванні у реальних проектах, наприклад, на розробці плану перебудови Балтимора, допомозі компанії Mobil Oil у виборі ділянки в Рестоні тощо.

Д. Данжермонд один з перших зрозумів, що з'явився стійкий попит на комерційні ГІС, які могли б використовувати інші фірми для реалізації

своїх проектів. Для створення комерційних геоінформаційних пакетів, компанія ESRI найняла декількох програмістів. Перший комерційний продукт ESRI – ARC / INFO – з'явився в 1981 р. У тому ж році була проведена перша конференція користувачів ESRI, на яку зібралось аж 18 осіб.

В ARC / INFO була вдало реалізована ідея ГІС Канади про розподіл інформації на ознаки та інформацію про місце розташування об'єктів. Успішне сполучення стандартної реляційної системи управління базами даних (INFO), в якій можливе маніпулювання таблицями властивостей, із спеціалізованою програмою (ARC), яка дозволяє маніпулювати об'єктами, що зберігаються у вигляді дуг, багато в чому визначило успіх цього програмного продукту. А цей принцип згодом став використовуватися у багатьох ГІС.

Це дає підставу вважати Джека Данжермонда (рис. 2.34) родоначальником комерційного застосування геоінформаційних технологій.



Рис. 2.34. Джек Данжермонд, 2009–2012 рр.

Цікаво, що в 2002 р. Джек Данжермонд, незважаючи на величезний прорив у галузі геоінформаційних технологій, заявив: що "... геоінформаційні технології наразі, перебувають на початковому етапі розвитку, і ми тільки починаємо розуміти її можливі галузі застосування. Вона і далі буде розвиватись еволюційним шляхом і стане тим, чим вона є – однією з найбільш універсальних і найважливіших технологій нашого світу. Концепція, що лежить в її основі, – використання просторових характеристик положення для інтеграції всієї доступної інформації про світ – поступово стане дійсним мостом між науковими дисциплінами й організаційними структурами".

Модульна структура ГІС ArcInfo дозволяла надбудовувати інструментарій новими прикладними засобами. ArcInfo стала першою ГІС, що використовувала переваги нової супермалої апаратури (міні-комп'ютери – робочі станції).

Відтепер ГІС могла базуватися на платформі, вартість якої була доступною багатьом управлінням з раціонального використання природних ресурсів і навіть окремим користувачам. Особливе значення мала неза-

лежність від спеціалізованих платформ й операційних систем (на відміну від ГІС "першої хвили"). Первісно система ArcInfo успішно застосовувалася в лісовому господарстві, потім на ринок ГІС вийшли й інші додатки цієї системи.

З появою нових операційних систем і нового апаратного забезпечення ArcInfo оперативно переходила та продовжує оперативно переходити на нові платформи.

Сьогодні ArcInfo є складовою частиною програмного продукту, який називається ArcGIS. Він включає в себе такі додатки:

– *настільні ГІС* – ArcInfo (ГІС з максимальною функціональністю), ArcEditor (ГІС проміжного рівня), ArcView (ГІС початкового рівня), ArcReader, ArcGISExtensions;

– *серверні ГІС* – ArcGIS Server, ArcGIS Explorer, ArcGISImage Server, ArcIMS;

– *географічні бази даних*;

– *інструменти розробників ГІС* – ArcGIS Engine;

– *мобільні ГІС* – ArcPad, ArcGIS Mobile, ArcGIS Desktop.

Історія MapInfo. Програмний продукт MapInfo був розроблений однойменною компанією в 1986 р., яка згодом була викуплена Pitney Bowes Business Insight. MapInfo є одним з продуктів, які виробляє ця компанія:

• *прикладні програми* – EasyLoader, Encom Geophysical Applications, Encom Licensing Software, GIS Software Applications, MapBasic, MapInfo Manager, MapInfo Professional, MapInfo ProViewer, MapMarker, Spatial Data Management Applications;

• *інструменти розробників ГІС* – MapX, MapXtreme, Routing J Server;

• рішення, що настроюються під замовника, – AnySite, TargetPro, Vertical Mapper;

• платформні рішення для ГІС – Envinsa, SpatialWare;

• географічні бази даних – Business Points, Communications Data, MediaPrints, PSYTE.

Зараз MapInfo Professional використовується в 130 країнах світу, перекладена 20 мовами, зокрема російською, і встановлена в десятках тисяч організацій.

Історія Intergraph. У 1969 р. Джеймс Мідлок (рис. 2.35) залишив посаду інженера в корпорації IBM, де розробляв програмне забезпечення для навігації ракетноносіїв Сатурн (Saturn), які запускали космічні апарати Аполлон (Apollo) на Місяць, і заснував у Хантсвіллі (штат Алабама) компанію M&S Computing, вклавши 39 000 дол. США власних заощаджень. Засновник M&S Computing вважав, що в такому місці програмісти будуть дуже затребувані.

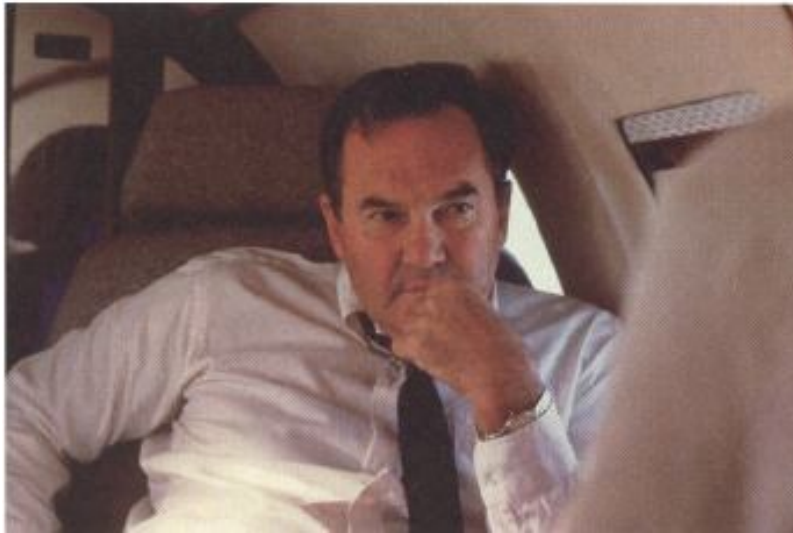


Рис. 2.35. Джеймс Мідлок (James Meadlock)

Крім Д. Мідлока до групи засновників увійшли його дружина Ненсі, Террі Шенсмен, Кейт Шонрок і Роберт Тарбер. Через 6 місяців до них приєднався Джеймс Тейлор.

Очікуваний успіх M&S Computing ґрунтувався на розрахунку, що урядові агенції почнуть використовувати цифрові обчислювальні системи замість аналогових, які використовувались у той час для керування ракетами в режимі реального часу, і що приватна компанія зможе досягти процвітання за рахунок зміни цієї технології.

Перші здобутки компанії були пов'язані із застосуванням цифрових обчислювальних машин для управління ракетами в реальному часі за замовленнями NASA й армії США. Як більшість компаній, що тільки починали свою роботу, організація була готова виконувати будь-яку роботу, щоб забезпечувати оплату рахунків. Результати багатьох робіт закінчувалися використанням комп'ютерної графіки для відображення даних, наприклад, розрахункової траєкторії (симуляції) запуску ракет. Цей підхід знайшов відображення в назві компанії, складеній зі слів Interactive і Graphics.

Подібні замовлення NASA істотно надихнули компанію до ведення бізнесу в сфері комп'ютерної графіки. Пізніше таке програмне забезпечення було розширене на галузь проектування інтегральних схем.

Д. Мідлок запропонував концепцію програмного забезпечення, що здатне генерувати комп'ютерну графіку без участі програміста, що на той час було ноу-хау в індустрії. Перші версії цих програмних систем були реалізовані на міні-комп'ютерах Xerox (колишніх Scientifi з Data Systems) Sigma 5 та Sigma 2.

Перша комерційна система для картографування Interactive Graphics Design System і компанія M&S Computing були продані адміністрації

округу Нешвілл у 1974 р. Зайнявшись комп'ютерною графікою, M&S Computing у 1980 р. змінила назву на Intergraph (Interactive graphics), що підкреслило націленість компанії на випуск продуктів інтерактивної графіки. У жовтні 2010 р. компанію Intergraph купила компанія Hexagon AB.

Зазначене програмне забезпечення є платним (пропріетарним) і, як правило, його офіційна купівля у виробника (або дистриб'ютора) не під силу пересічному користувачеві-досліднику. У цьому випадку на допомогу приходять так звані відкриті ГІС, які сьогодні отримують все більшого поширення.

Одночасно з ESRI і Intergraph були засновані британська Ferranti і швейцарська Contraves (трохи пізніше до них примкнули норвезька Koninglike Wappenfabriek і німецька Messerschmidt-Boelkow-Bluehm). Ferranti пропонувала ГІС для кадастрового картографування наприкінці 70-х рр. ХХ ст., проте незабаром зникла з ринку.

Одна з провідних компаній у сфері розробки ГІС – MapInfo Corporation – була створена в 1986 р. До її продукції входять настільна ГІС, різні картографічні продукти, а також деякі веб-додатки. Найбільш відомим продуктом компанії є ГІС MapInfo Professional.

Заснована в 1982 р. корпорація Autodesk – найбільший у світі постачальник програмного забезпечення для промисловості та цивільного будівництва, машинобудування, ринку засобів інформації і розваг – у 1996 р. випустила програмний продукт AutoCAD Map для створення ГІС. Понад 150000 користувачів AutoCAD, які в той період використовували його головним чином у картографії, є доволі серйозним результатом.

Компанія Bentley Systems, Inc. (США) була створена в 1984 р. її спеціалізація – комплексні ГІС-САПР-технології. Перші десять років існування Bentley була компанією одного продукту MicroStation – професійної, високопродуктивної графічної системи для 2D і 3D автоматизованого проектування. З 1995 р. Bentley почала стрімко розширювати сферу інтересів і, відповідно, спектр пропонованих програмних продуктів. Сьогодні компанія Bentley звертає серйозну увагу на удосконалення технологій ГІС.

III етап (90-ті роки ХХ ст.). Активне впровадження в життя персональних комп'ютерів, виробництво яких розпочала фірма ІВМ у 1981 р., стимулювало створення цілого класу настільних ГІС, орієнтованих на масового користувача. Наприкінці 80-х рр. ХХ ст. цей ринок переважно належить двом американським системам MapInfo (MapInfo Corp.) і AtlasGIS (Strategic Mapping Inc.). На початку 1990-х рр. у цих пакетів з'явився потужний конкурент – ArcView GIS (ESRI Inc.).

Перші загальнодоступні, повнофункціональні ГІС, що були здатні працювати на персональних комп'ютерах, з'явилися у 1994 р. Саме з цього часу й почався бурхливий розвиток ГІС як масової технології. ГІТ

почали широко використовуватися для розв'язку завдань управління в торгівлі, транспорті, складському господарстві, сільському господарстві, екології та природокористуванні, охороні здоров'я, туризмі, будівництві, оптимальному інвестуванні тощо.

На відміну від професійних інструментальних ГІС (типу ARC / INFO), для настільних систем характерні обмежені функціональні можливості, невисокі вимоги до апаратного забезпечення ГІС (орієнтація на персональні комп'ютери з процесором Intel і ОС Microsoft) і відносна дешевизна (вартість в межах 500–2000 дол. США). Здебільшого вони були тим програмним середовищем, яке дозволяло користувачу або відносно просто створювати ГІС у відповідності з його власними запитами і можливостями, або вирішувати певні завдання, котрі були пов'язані з просторовою інформацією та використанням ГІТ. Саме цей період став періодом комерційного розвитку ГІС.

Широкий спектр різноманітних програмних засобів, розвиток настільних ГІС, розширення сфери їх застосування за рахунок інтеграції з базами непросторових даних, поява мережевих додатків, поява значної кількості непрофесійних користувачів системи, які підтримують індивідуальні набори даних на окремих комп'ютерах, відкрили шлях системам, що містять корпоративні та розподілені бази геоданих.

Сьогодні світовими лідерами серед комерційних геоінформаційних пакетів є програмні продукти фірм ESRI (Arc / Info і Arc View GIS), Intergraph (MGE), Mapping Information Systems (MapInfo).

Прогрес ГІТ у 90-х рр. ХХ ст. значною мірою був зумовлений прогресом апаратних засобів, причому як комп'ютерів – виникненням 32-бітових, а згодом 64-бітових міні- та мікро-ЕОМ, так та засобів уведення й виведення просторової інформації – дигітайзерів, сканерів, графічних дисплеїв і плотерів.

У цей же період, у розвинених країнах світу, ГІТ стає найбільш поширеною технологією обробки, аналізу та подання просторово-координованої інформації при розв'язку різних завдань у географії, геології, екології, особливо при виконанні великих міждисциплінарних проектів, містобудівному плануванні, на транспорті, у кадастровій діяльності, регіональному плануванні й управлінні та багатьох інших сферах людської діяльності. За даними (Burrough, McDonnell, 1998), в 1995 р. у світі ГІС використовувалися більше ніж у 93000 місцях, з них 65 % знаходилися в Північній Америці і 22 % – у Європі. Для цього етапу стає помітною тенденція зміщення центру активності щодо освоєння і впровадження ГІТ спочатку в країни Східної Європи, а потім у країни СНД.

У колишньому СРСР дослідження в галузі ГІТ були розпочаті у 80-х рр. ХХ ст. і головним чином, як відзначає В. С. Тікунов (рис. 2.36) [22], були пов'язані з адаптацією зарубіжного (західного) досвіду.



Рис. 2.36. *Тікунов Володимир Сергійович – професор, завідувач (з 1995 р.) лабораторії комплексного картографування і регіонального центру світової системи даних (з 2011 р.) географічного факультету МДУ ім. М. В. Ломоносова*



Рис. 2.37. *Берлянт Олександр Михайлович – завідувач кафедри картографії і геоінформатики географічного факультету МДУ; д.г.н., професор; академік РАН (1994)*

Дослідження проводили Інститут географії та Далекосхідний науковий центр АН СРСР, Московський (кафедра картографії і геоінформатики), Казанський, Тбіліський, Тартуський і Харківський університети.

У другій половині 80-х рр. ХХ ст. були розроблені перші автоматизовані системи картографування, зокрема АКС МДУ, яка була орієнтована передусім на потреби тематичного картографування, здійснювалися дослідження з просторового аналізу, картографо-математичного моделювання, тематичного картографування та їх автоматизації (О. М. Берлянт (рис. 2.37), М. Л. Беручашвілі, В. Т. Жуков, П. В. Петров, С. М. Сербенюк, Ю. Г. Симонов, В. С. Тікунов, І. Г. Черваньов (рис. 2.38), В. А. Черв'яков та ін.), з теоретичного обґрунтування і розробки перших геоінформаційних систем (М. Л. Беручашвілі, І. В. Гарміз, В. С. Давидчук, В. П. Каракін, О. В. Кошкар'юв (рис. 2.39), В. Г. Лінник, М. В. Панасюк, А. М. Трофімов та ін.). В МДУ були створені пакети "МАГ", "AIRPOLL".

Першою ГІС, розробленою в колишньому СРСР, мабуть, була геоінформаційна система Марткопського фізико-географічного стаціонару Тбіліського університету (Беручашвілі М. Л., 1986) [83].

Перші ж програмні геоінформаційні пакети на території СНД були розроблені у 90-х рр. ХХ ст. Серед них найвідомішим є пакет GeoDraw / Географ, створений у 1992 р. Центром геоінформаційних досліджень Інституту географії Російської академії наук (РАН), який має декілька тисяч інсталяцій. За своїми функціональними можливостями ця система не поступається багатьом зарубіжним настільним геоінформаційним пакетам.



Рис. 2.38.
Черваньов
Ігор
Григорович



Рис. 2.39.
Кошкарьов
Олександр
Володимирович



Рис. 2.40.
Лінник
Віталій
Григорович



Рис. 2.41.
Цветков
Віктор
Якович

Крім GeoDraw / Географ, у Російській Федерації розроблено низку програмних геоінформаційних пакетів, які мають по декілька сотень інсталяцій. Найвідомішими з них є пакети: "Панорама" (Топографічна служба Збройних Сил РФ, – ГеоСпектрум Інтернешнл), "Парк" (ТОВ "Ланеко", м. Москва), CSI-MAP (компанія "КСІ-технологія", м. Санкт-Петербург), Sinteks ABRIS (компанія "Трісофт", м. Москва), ObjectLand (ЗАТ "Радом-Т", м. Таганрог) і "Інго" (компанія "Інтегро", м. Уфа), "Пангея" (Пангея).

Постійно з'являються нові оригінальні геоінформаційні розробки, причому не тільки в московських інститутах, але й у регіональних наукових центрах. Як спеціалізовану розробку можна відзначити систему цифрової фотограмметрії Photomod (ЗАО "Ракурс").

Запізніле впровадження в Росії і країнах СНД ГІТ призвело до майже повної відсутності розвиненого ринку цифрових карт. Це стало причиною своєрідного технологічного лідерства Росії на ринку програмних продуктів для автоматичної та напівавтоматичної векторизації сканованих картографічних матеріалів. Справа в тому, що в США і країнах Західної Європи більшість топографічних карт було переведено в цифрову форму шляхом ручного цифрування за допомогою дигітайзерів задовго до початку ери активного застосування сканерів.

Серед російських програм-векторизаторів можна виділити пакети EasyTrace (EasyTrace Group), MapEdit (Резидент), Spotlight (Consistent Software), AutoVec (AutoVec).

Розробка геоінформаційних додатків у країнах СНД, зокрема в Росії, ведеться як на базі російських пакетів програм, так і зарубіжних. При Міністерстві природних ресурсів Російської Федерації була створена Єдина інформаційна система надрокористування Росії, одним з основних завдань якої є державне геологічне картування масштабу 1:200000 (програма "Госгеолкарта – 2000"). Серед великих геоінформаційних проектів у Росії треба також згадати ГІС "Гляціологія" на основі каталогу льодовиків і

"Атласу сніжно-льодових ресурсів світу", ГІС VM-COUNTY, яка включає бази даних з економіки та населення колишнього СРСР і США (Московський державний університет). Велика автоматизована система лісового картографування (АСЛК) розроблена й успішно експлуатується у ВНІЦ "Лісові ресурси" [22]. Грунтовий інститут ім. В. В. Докучаєва розробив низку інформаційних систем ґрунтознавчої орієнтації, створив ГІС "Охорона ґрунтів". У Санкт-Петербурзькому державному університеті створена автоматизована картографічна система морської картографії (АКС МК). У Казанському університеті створена географічна інформаційна система моделювання навколишнього середовища "ГІС-МОС".

Питаннями застосування комп'ютера для вирішення ландшафтних завдань одними з перших у СРСР стали займатися грузинські географи під керівництвом М. Л. Беручашвілі. В Тбіліському університеті створена ГІС моніторингу ландшафтів Грузії [Беручашвілі М. Л., 1989].

Здійснювалися дослідження в галузі автоматизації картографування, просторового аналізу, картографо-математичного моделювання (О. М. Берлянт, М. Л. Беручашвілі, В. Т. Жуков, Д. В. Лисицький, П. В. Петров, С. М. Сербенюк, Ю. Г. Симонов, В. С. Тікунов, І. Г. Черваньов, В. А. Черв'яков та ін.), теоретичного обґрунтування геоінформаційних систем (Н. Л. Беручашвілі, І. В. Гармиз, В. С. Давидчук, В. П. Каракін, О. В. Кошкар'єв, В. Г. Лінник (рис. 2.40), М. В. Панасюк, А. М. Трофимов, В. Я. Цветков (рис. 2.41) та ін.).

Проте, незважаючи на значні досягнення передусім російських учених, більша частина ринку програмного геоінформаційного забезпечення в країнах СНД представлена все ж продукцією західних фірм – ESRI, Intergraph, MapInfo, Autodesk тощо.

Таким чином, аналізуючи третій етап розвитку геоінформатики, треба відзначити, що первісно використання комп'ютера в галузях, що оперують просторовими даними, йшло окремими паралельними шляхами: картографія з високоякісним кресленням, автоматизоване проектування і комп'ютерна графіка, геодезія, фотограмметрія, технологія дистанційного зондування, просторовий аналіз растрових даних тематичних карт, інтерполяція векторних (точкових) даних тощо. Однак поступово з'ясувалося, що, незважаючи на різні цілі, усі ці дисципліни потребують інструментів, здатних виконувати одні і ті ж функції: збір, збереження, пошук, трансформація та відображення просторових даних з реального світу. Саме таким інструментом і стала ГІС у сучасному її розумінні.

IV етап (початок ХХІ ст. – сьогодні). Цей етап є періодом подальшого розвитку створення національних інфраструктур просторових даних (НІГД), їх інтеграцією в загальноєвропейську та світову системи. Відбувається подальший динамічний розвиток ГІС у світі.

Підвищується конкуренція серед комерційних виробників геоінформаційних послуг, покращується сервіс користувачам ГІС, доступність і "відкритість" програмних засобів дозволяє використовувати і навіть модифікувати програми. Поява користувальницьких "клубів", телеконференцій, територіально роз'єднаних, але зв'язаних єдиною тематикою збільшує потребу в геоданих.

У середині 90-х рр. ХХ ст. відбулось падіння цін на обчислювальну техніку, зумовлене "падінням" цін на пам'ять, що призвело до збільшення кількості постачальників на ринку геоінформаційних продуктів, істотного розширення кола вирішуваних завдань, появи найсучасніших технологій, таких як GPS, електронних тахеометрів та ін.).

У цей період приклад нового ставлення до користувачів продемонстрували розробники та власники геоінформаційного програмного продукту GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) для робочих станцій, створеного американськими військовими фахівцями (Army Corps of Engineers) для завдань планування природокористування і землеустрою. Вони відкрили GRASS для безкоштовного користування (public-domain), включаючи зняття авторських прав на вихідні тексти програм. Як наслідок, користувачі та програмісти змогли створювати власні додатки, інтегруючи GRASS з іншими програмними продуктами.

На сучасному етапі GRASS Version 4.1, яка була створена в 1993 р., в тому числі вихідні тексти програм, системну і довідкову документацію, навчальний посібник для користувачів, ряд прикладів наборів даних, відкрито розповсюджується в мережі Інтернет.

Приклад Army Corps of Engineers наслідувала ESRI, Inc., яка відкрила в 1994 р. для необмеженого безкоштовного користування свій програмний продукт ArcView 1 for Windows, який також можна було отримати в мережі Інтернет.

Насичення ринку програмних засобів для ГІС, зокрема призначених для персональних комп'ютерів (Desktop GIS), різко збільшило сферу застосування ГІТ. Це стало вимагати створення великих наборів цифрових геоданих, а також необхідності формування системи професійної підготовки та навчання фахівців із ГІС.

У найбільш розвинутих у геоінформаційному відношенні країнах ці проблеми вирішувалися шляхом формування державних національних і міжнародних ініціатив з розробки і створення так званих "Інфраструктур геопросторових даних" (ІГД), які включають питання ГІТ, телекомунікацій, стандартизації даних і професійної підготовки. Так, наприклад, 19 жовтня 1990 р. у США був опублікований "Циркуляр А-16", спрямований на "максимальний розвиток національних цифрових ресурсів просторової інформації, з залученням до цієї діяльності федеральних, регіональних і місцевих органів управління, а також приватного сектору. Ці національні

інформаційні ресурси, взаємопов'язані за допомогою єдиних критеріїв і стандартів, забезпечать поширення й ефективний обмін просторовими даними між виробниками і користувачами".

З цією метою був створений Федеральний комітет просторових даних. Для популяризації "Циркуляра А-16" 11 квітня 1994 р. Президент США Б. Клінтон видав урядове розпорядження під назвою "Координація у сфері отримання і доступу до даних Національної інфраструктури просторових даних".

2.3. Історія розвитку відкритих ГІС

Історія розвитку відкритих ГІС починається з кінця 1970-х – початку 1980-х рр. і пов'язана зі створенням у 1978 р., з ініціативи Служби охорони рибних ресурсів і диких тварин США, відкритої векторної ГІС MOSS (Map Overlay and Statistical System). Її появу можна вважати однією з ключових подій, що визначили подальший напрям розвитку ГІС.

MOSS стала першою інтерактивною ГІС, призначеною для роботи на міні-комп'ютерах і поєднувала в собі можливість роботи як з растровими, так і з векторними даними. Свого часу MOSS використовувалася для розв'язку різних завдань, як на рівні міністерств США, так і в багатьох урядах штатів і місцевих органів влади.

Сьогодні можна виділити такі популярні відкриті ГІС:

- GRASS GIS (рік створення – 1982, США);
- ILWIS (дата створення – 1980-ті рр., Голландія);
- MapWindow GIS (рік створення – 1998, США);
- SAGA (рік створення – 2001, Німеччина);
- Quantum GIS (рік створення – 2002, міжнародний проект);
- gvSIG (рік створення – 2003, Іспанія).

2.4. Розвиток ГІС в Україні

ГІТ в Україні набули розвитку в середині 90-х рр. ХХ ст. За цей час ГІС пройшли шлях становлення, з однієї точки зору – суттєвий, з іншої... З іншої, все могло би бути і значно краще.

Серед позитивних чинників, які характеризують сучасний стан застосування ГІТ, необхідно відзначити такі:

1. *Формування в державних установах і організаціях груп фахівців, які активно працюють у напрямку застосування ГІС у різних сферах людської діяльності, зокрема: у Державному проектному інституті Дніпромісто (Київ), Науково-дослідному інституті геодезії і картографії*

(Київ), Київському національному університеті будівництва і архітектури, Київському національному авіаційному університеті, Одеському національному університеті ім. І. І. Мечникова, Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Національному університеті "Львівська політехніка" (Львів), Національній гірській академії (Дніпропетровськ), Харківському технічному університеті радіоелектроніки, Українському центрі менеджменту Землі і ресурсів (Київ), Донецькому національному технічному університеті, Чернігівському державному інституті економіки і управління та в інших.

2. *Створення ГІС-асоціації* (1997 р.) і *Асоціації геоінформатиків* (2003 р.), сприяють активізації та консолідації геоінформаційної діяльності в Україні. Всеукраїнський благодійний фонд сприяння розвитку геоінформаційних технологій та послуг "ГІС-Асоціація України" об'єднує фахівців, зайнятих у галузі розробки та впровадження ГІС. ГІС-Асоціація у своїй структурі має дирекцію, експертну раду, учбово-методичний центр та департамент впровадження проектів.

3. *Щорічне проведення ГІС-форумів*, починаючи з 1995 р., конференцій "Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти" (з 2002 р.), конференцій користувачів продуктів фірми ESRI в Криму (з 1998 р., ЗАТ ЕСОММ), а також окремих тематичних конференцій, семінарів, нарад, присвячених використанню геоінформаційних технологій (наприклад, "Геоінформаційні технології сьогодні" (Львів, 1999 р.); "Геоінформаційні системи і муніципальне управління" (Миколаїв, 2000 р.) "Можливості ГІС / ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем регіону" (Одеса, 2003 р.), Можливості сучасних ГІС / ДЗЗ технологій у сприянні вирішення проблем регіонів (ДНВЦ "Природа") та багатьох інших.

4. *Створення державних підприємств і комерційних компаній, які спеціалізуються на розробці і / або використанні ГІТ*, зокрема: державного науково-виробничого підприємства "Геосистема" (Вінниця) і науково-виробничого центру "Геодезкартінформатика" (Київ); комерційних компаній "Інтелектуальні системи, Гео", "Інститут передових технологій", "ЕСОММ", "ГЕОКАД", "Аркада", "Герніка" (Київ); "Високі технології" (Одеса) тощо.

5. *Розробка спеціалізованих геоінформаційних пакетів*: "Рельєф-процесор" – Харківський національний університет ім. В. М. Каразіна; векторно-растрової інструментальної ГІС настільного типу ОКО – ВАТ "Геобіономіка" (Київ); програмних комплексів GEO+CAD і GeoniCS, призначених для обробки даних досліджень і геоінженерного проектування в галузі цивільного, промислового і транспортного будівництва – компанія "ГЕОКАД", АТ "Аркада" і НПЦ "Герніка" (Київ), K-mine (Кривбасінвест, Кривий Ріг) та ін.

6. Створення електронного атласу України (рис. 2.42) – пілотної версії комп'ютерного Національного атласу України (2000) – Інститутом географії НАН України і компанією "Інтелектуальні системи, Гео" (Київ).

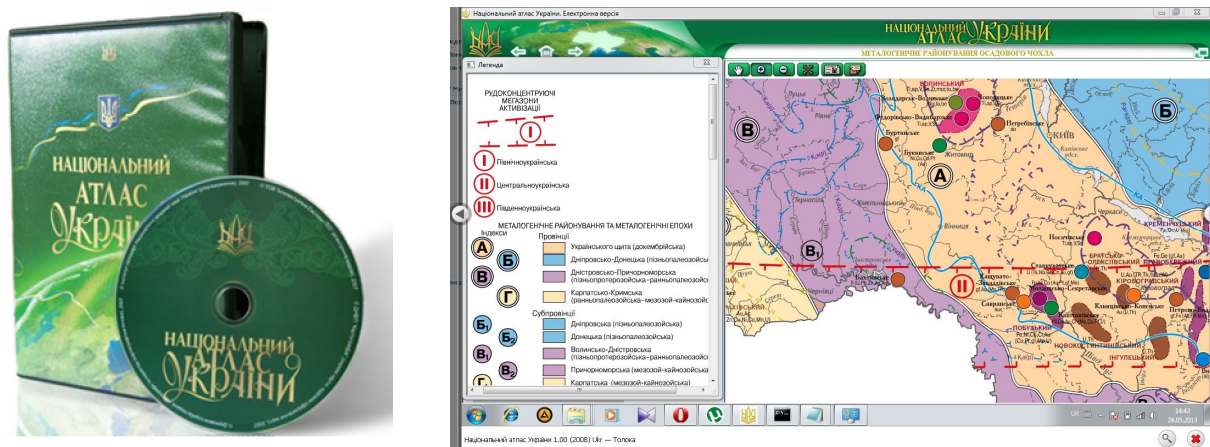


Рис. 2.42. Фрагмент Національного атласу України

Атлас містить 875 унікальних карт, які створені на базі новітніх знань і статистичної інформації, а також тексти, графіки і фотографії. Він органічно об'єднує шість тематичних блоків.

Загальна характеристика. Інформація про геополітичне положення України, її фізико-географічні умови й адміністративний устрій, місце в європейському та світовому природно-ресурсному, економічному і демографічному потенціалі.

Історія. Інформація про основні етапи історії українського народу і держави.

Природні умови та природні ресурси. Інформація про особливості та якість природних умов країни, наявність і кількість природних ресурсів.

Населення. Інформація про чисельність, розміщення та рух населення, структуру розселення, національний склад, особливості демографічного, соціально-економічного і гуманітарного розвитку.

Економіка. Інформація, що відображує рівень розвитку продуктивних сил України, структуру, спеціалізацію і територіальну організацію господарства та загальні тенденції трансформації економіки.

Екологічний стан навколишнього середовища. Карти відбивають комплексну оцінку стану і рівня забруднення навколишнього середовища й окремих компонентів природи, систему моніторингу, природно-заповідний фонд та інші території, що охороняються.

7. Внесення курсів із ГІС і ГІТ до програми підготовки фахівців природознавчих, екологічних, інженерних та сільськогосподарських спеціальностей у багатьох вищих навчальних закладах країни; відкриття у деяких з них курсів підготовки фахівців у галузі геоінформаційних систем і технологій.

До факторів, що стримують розвиток геоінформаційних технологій, належать відносно низький у цілому рівень комп'ютеризації в країні, відсутність у достатній кількості відповідних фахівців і коштів на придбання ліцензійного програмного забезпечення.

Однак, незважаючи на це, ГІС знаходять застосування у все нових сферах науки, виробничої діяльності й освіти. Коло користувачів ГІС постійно розширюється і відкриває нові можливості для обміну накопиченою інформацією. Деякі системи комплектуються за бажанням замовника готовими базами даних. Все це призводить до того, що покупцями ГІС стають невеликі міста й області, окремі галузі промисловості, медицина, освіта тощо. Невеликі навчальні та довідково-інформаційні ГІС бажать мати вищі і навіть приватні особи, чия діяльність пов'язана з управлінням.

Важливим моментом необхідно вважати посилення міжнародної кооперації та координації геоінформаційної діяльності. Одним із головних наслідків є створення глобальних інформаційних систем типу Глобальної природно-ресурсної бази GRID під егідою ЮНЕСКО, ГІС європейського економічного співтовариства CORINS і багато інших.

Про значення ГІС можна говорити, виходячи з того, яка увага приділяється їм у більшості країн світу. У багатьох із них створені національні й регіональні організації, до завдань яких входить розвиток досліджень, пов'язаних із ГІС, розробка пропозицій у сфері національного й міського планування інформації, координація програм отримання, обробки й розповсюдження цієї інформації, створення мереж ГІС. З цією метою розроблена правова база, створюється потужне, апаратне й програмне забезпечення, налагоджена підготовка та перекваліфікація необхідного класу спеціалістів.

Розвиток інформаційних технологій на базі обчислювальної техніки, створення автоматизованих, високопродуктивних робочих станцій, банків даних і баз знань, а також обчислювальних мереж привело до появи нового напрямку в інформатиці – геоінформатики, в основі якої лежать ГІС і ГІТ. На сьогодні вже існують (функціонують) сотні ГІС різного рівня.

Для раціоналізації управлінських процесів у органах виконавчої влади і місцевого самоврядування в розвинутих державах і країнах з перехідною економікою запроваджуються новітні інформаційні технології, в тому числі ГІТ, оскільки відомо, що вони можуть широко застосовуватися в практиці управління, відкривають нові можливості при аналізі територіально-прив'язаних даних, пошуку закономірностей їх розподілу, моделюванні та прогнозі ситуацій.

Розвиток передових країн світу переконливо демонструє відсутність альтернативи цієї технології в державному управлінні та самоврядуванні. Проте при запровадженні будь-яких інновацій на державній службі, особливо сучасних технологій управління, виникають певні ускладнення. Це підтверджується проведенням аналізом щодо спроб застосування ГІТ у декількох регіонах і містах нашої країни.

Як свідчить аналіз можливостей ГІТ і основних пріоритетних напрямків природно-ресурсної тематики, ГІС загальнодержавного і регіонального рівнів доцільно орієнтувати на вирішення завдань:

- 1) оцінки стану природних ресурсів регіону та планування процесів їх раціонального використання;
- 2) оцінки та прогнозування екологічного стану регіону;
- 3) оцінки ефективності і прогнозування розвитку регіонів;
- 4) розробки рекомендацій щодо забезпечення функцій управління регіонами.

Необхідно відзначити, що ці проблемні сфери є також домінуючими для регіональних прикладних дистанційних досліджень регіонів з космосу. Тому можна стверджувати про важливість ГІС і ГІТ для перспективних інформаційних технологій у прикладних дистанційних дослідженнях територіальних угруповань з космосу.

2.5. Перспективи розвитку ГІС на найближчі роки

ГІС розпочали своє існування з назвою "географічні інформаційні системи" (Geographic Information System) і означали програмні засоби для роботи з географічною (просторовою) інформацією та пошаровим її поданням. Таке становище відбувалось майже до 80-х рр. ХХ ст.

У 90-х рр. ХХ ст. це визначення трансформується і основною розшифрування стає "геоінформатика" (Geographic Information Science), оскільки ці системи сконцентрувались на алгебрі операцій над простором і картами.

Наразі спостерігається тенденція переходу до "географічних інформаційних послуг" (Geographic Information Services) на платформі персональних комп'ютерів (рис. 2.43) [54].

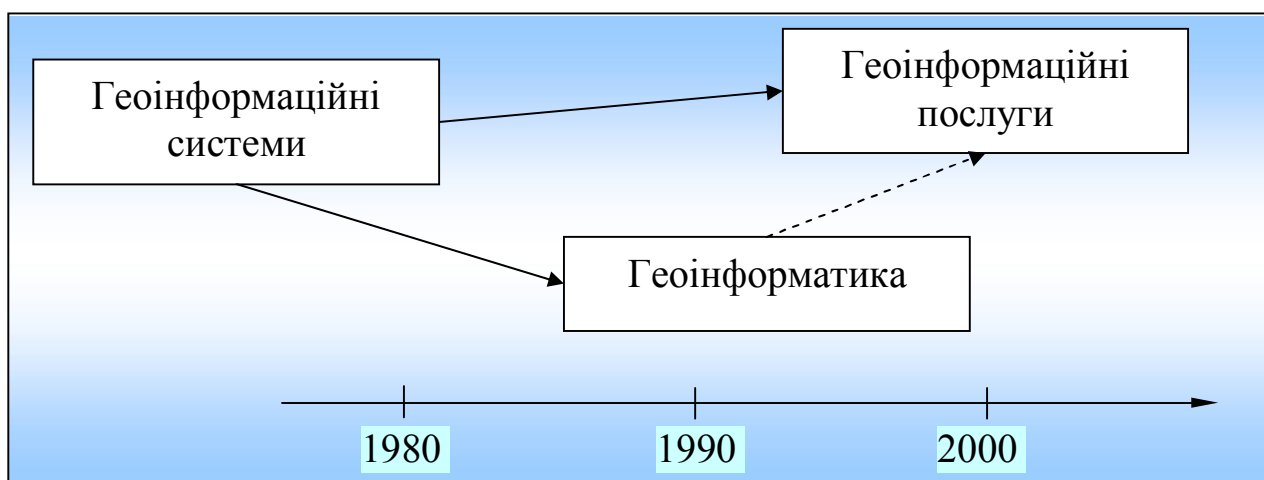


Рис. 2.43. Еволюція концепції ГІС протягом останніх двох десятиліть

За останні 25 років ГІС пережили великі зміни, як концептуальні, так і функціональні. Це вже не ті "тремтливі" програми, в яких можна було на основі наявних даних створювати карти. Це і зараз одна з найважливіших і найбільш затребуваних функцій ГІС, якщо можна так сказати, їх візитна картка.

На сучасному рівні розвитку ГІС стали практично основним інструментом моделювання природних, господарських, соціальних процесів і явищ, відстеження їх зв'язків, взаємодій, прогнозування їх подальшого розвитку в просторі та часі, а головне – засобом забезпечення (підтримки) прийняття рішень управлінського характеру [4].

Але сучасні ГІС сьогодні – ще й інтеграційне середовище, яке дозволяє об'єднувати і систематизувати різноманітну інформацію, її потоки, що надходять з багатьох відділів і служб. Все частіше і частіше ГІС наближаються до вершин інформаційної структури відомств і підприємств, хоча, одночасно, на інших стадіях робочого процесу їх використовують і для професійного аналізу даних, і для "чорнової" роботи – введення та підготовки даних.

У "інтеграційному" аспекті ГІС використовують, щоб розв'язувати задачі на найвищому рівні територіального управління.

Організація Об'єднаних Націй використовує ГІС для роботи з актуальною інформацією. Де б не проводилися операції ООН, в рамках операції збирається необхідна інформація. Вона подається у вигляді тематичних атласів, доступ до яких відкритий для всіх зацікавлених осіб. Обов'язково готується картографічна основа. Можливість одержувати таку інформацію, можливість моделювання ситуацій роблять ГІС чинними інструментами для планування гуманітарних операцій, запобігання й владнання регіональних конфліктів. Однак ГІС використовуються не тільки для розв'язку великих аналітичних і прогнозних завдань. Ефективний також комплексний просторовий підхід і при розв'язку конкретних повсякденних задач управління територіями.

Створення єдиних муніципальних ГІС дозволяє системно підійти до розв'язку будь-якої територіальної задачі.

Найважливіший етап у розвитку територій – територіальне планування – вже на жодній стадії не обходиться без ГІС, які надають можливість постійної актуалізації потрібної документації, наукову обґрунтованість пропозицій, заснованих на накопичених і наочно представлених даних, можливість моделювання різних сценаріїв, використання створених у ГІС матеріалів для містобудівного й екологічного моніторингу.

Потреба більш ефективно вирішувати питання управління, планування, інвентаризації і експлуатації інженерних комунікацій також приводить до впровадження ГІС, як у муніципальних утвореннях, так і на великих підприємствах.

ГІС виступають як база інформаційно-аналітичних систем, що інтегрують у собі актуальні дані, необхідні для управління людською діяльністю. Це найцікавіший досвід зовсім різних організацій, які займаються, як глобальними завданнями, такими як контроль за розвитком регіонів, так і завданнями локальними, пов'язаними з господарською діяльністю. ГІС дозволяють по-новому, більш глибоко глянути на проблему, комплексно підійти до її розв'язку, надаючи необхідний для цього інструментарій.

На сьогодні у світі розроблені та використовуються сотні різноманітних геоінформаційних пакетів, а на їхній базі створені десятки тисяч прикладних ГІС різної спрямованості.

ГІС і ГІТ знайшли широке застосування в різноманітних сферах і напрямках територіальної діяльності:

- кадастрі (земельному, водному, лісовому, нерухомості, природних ресурсів тощо);
- містобудуванні та муніципальному управлінні;
- проектуванні, будівництві, експлуатації об'єктів;
- геологічних дослідженнях;
- розробці й експлуатації природних ресурсів, копалин;
- сільському, лісному, водному господарствах;
- метеорології;
- природокористуванні та моніторингах;
- бізнесі (торгівлі, маркетингу, логістиці, управлінні банківською справою, послугах ріелторів тощо);
- плануванні та прогнозуванні;
- обороні країни, безпеці і надзвичайних ситуаціях;
- прийнятті управлінських рішень;
- політиці й управлінні державою;
- науці, освіті тощо.

Зрозуміло, що наведеним переліком не вичерпуються всі напрями діяльності ГІС та ГІТ. ГІС потрібні практично всюди, де використовується територіально розподілена інформація і є необхідність просторового (територіального) аналізу, територіальної оцінки і територіального прогнозу.

Подальший розвиток ГІС і ГІТ відбувається у таких напрямках [50]:

1. Перший і найбільш реальний напрям сучасного розвитку ГІС. Важливо відзначити, що сучасні ГІТ об'єднані з іншою потужною системою отримання і представлення просторової інформації – даними ДЗЗ із космосу, літаків і будь-яких інших літальних апаратів. Космічна інформація в сучасному світі стає все більш різноманітною, точною, доступною. Десятки орбітальних систем передають високоточні космічні знімки будь-якої території нашої планети. Сформовані архіви та банки даних цифрових знімків, які охоплюють територію Земної кулі. Їхня відносна доступність для спо-

живача (оперативний пошук, замовлення й одержання через систему Інтернет), проведення знімальних будь-якої території за бажанням споживача, можливість наступної обробки й аналізу фотографій із космосу за допомогою різних програмних засобів, інтегрованість із геоінформаційними пакетами перетворюють тандем ГІС-ДЗЗ у новий могутній засіб географічного аналізу.

2. Другий напрям розвитку ГІС – спільне і широке використання даних високоточного глобального розташування того чи іншого об'єкта, отриманих за допомогою систем GPS (США), ГЛОССНАС (Росія), Галілео (ЄС). Ці системи, особливо GPS, уже зараз широко використовуються в морській навігації, повітроплаванні, геодезії, військовій справі й інших галузях людської діяльності. Застосування їх у поєднанні з ГІС і ДЗЗ утворює потужну тріаду високоточної, актуальної (аж до реального режиму часу), постійно оновлюваної, об'єктивної та щільно насиченої територіальної інформації, яку можна буде використовувати практично скрізь. Приклади успішного спільного використання цих систем військами НАТО при проведенні бойових дій у військових конфліктах в Іраку і Югославії є підтвердженням того, що поширення цього напрямку в інших галузях практичної діяльності не за горами.

3. Третій напрям розвитку ГІС пов'язаний із розвитком системи телекомунікацій, насамперед міжнародної мережі Інтернет, і масовим використанням глобальних міжнародних інформаційних ресурсів. У цьому напрямі вбачається декілька перспективних шляхів.

Перший шлях буде визначатися розвитком корпоративних мереж найбільших підприємств і управлінських структур, що мають винятковий доступ, з використанням технології Інтернет. Даний шлях буде визначати розвиток технологічних проблем ГІС при роботі в корпоративних мережах. Поширення ж відпрацьованих технологій і вирішення питань дрібних і середніх підприємств і фірм дасть могутній поштовх до їх масового використання.

Другий шлях залежить від розвитку самої мережі Інтернет, що збільшує свою аудиторію на десятки тисяч нових користувачів. Наприклад, Інтернет пропонує туристам маршрутні карти. Інший вузол дозволяє використовувати просторово-орієнтовану пошукову машину для відповідей на запити типу "Знайти всі японські ресторани в Києві". Ще один багатообіцяючий варіант використання просторових технологій пов'язаний із визначенням місця розташування мобільних телефонів.

Також треба відзначити ще один суттєвий прикладний додаток – мобільну дистанційну роботу співробітників великих компаній – за місцем розташування клієнта, в філіалах компанії і на віддалених ділянках. Зазвичай вони завантажують сегмент даних для розв'язку конкретної задачі, віддалено працюють з цими даними і вносять зміни в основну базу даних (синхронізують її) наприкінці робочого дня.

Усе це свідчить, що попит на просторові технології тепер постійно зростає.

Розвиваючись таким шляхом, традиційні ГІС зі звичайно закритих і дорогих систем, що існують для окремих колективів і вирішення окремих задач, згодом набудуть нових ознак, об'єднаються і перетворяться в могутні інтегровані та інтерактивні системи спільного глобального використання.

При цьому такі ГІС самі стануть:

- територіально розподіленими;
- модульно нарощуваними;
- спільно використовуваними;
- постійно і легко доступними.

Тому можна припускати виникнення на базі сучасних ГІС нових типів, класів і навіть поколінь географічних інформаційних систем, заснованих на можливостях Інтернет, телебачення і телекомунікацій.

Майбутні класи та покоління ГІС. Враховуючи інформацію та відслідковуючи сучасні тенденції розвитку ГІС і ГІТ, уже зараз можна визначити деякі риси майбутніх ГІС [50]:

– *ГІС-ТБ* (ГІС-телебачення). Ймовірно, ці системи стануть новим класом ГІС, що будуть поєднувати можливості сучасного телебачення, а також традиційних і спеціалізованих ГІС та інтернет. Окремі передумови виникнення деяких рис таких систем уже з'явилися і використовуються на телевізійних каналах. Великий потенціал у ГІС-ТБ простежується у сфері організації дистанційного освітнього телебачення, де використовуються функції та можливості ГІС і ГІТ. Можна було б уже зараз організувати і транслювати різноманітні передачі й уроки, побудовані на просторовій ідеології.

ГІС-інтернет. Досвід застосування компіляцій настільних ГІС і локальних геоданих засвідчив певні проблеми їхнього застосування. Перед усім, це: обмежена доступність ГІС для "кінцевого" користувача; відсутність загальних підходів до збереження, структурування та керування даними; складність (специфічність) інтерфейсу програмних продуктів ГІС; відсутність належного картографічного оформлення тематичних шарів і відповідної необхідної документації; змісту технічної атрибутивної інформації; незахищеність інформації, що передається "кінцевому" користувачу. Вищезазначені обмеження використання даних, значне збільшення об'ємів просторової інформації та зростаючий попит на доступ до геоданих природним чином визначають необхідність більш високої організації ГІС.

Сучасний рівень розвитку ГІС і інформаційно-, телекомунікаційних технологій дозволяє вести мову про деякі ефективні рішення щодо зазначених недоліків настільних ГІС при використанні Internet / Intranet-технологій.

Використання Internet / Intranet-технологій при створенні геоінформаційних ресурсів (GRID-технології – технології створення та використання розподілених інформаційно-обчислювальних ресурсів) та побудові ГІС різного призначення й охоплення в найближчий час стане домінуючим у світовому інформаційному просторі, оскільки ці технології:

- дозволяють організувати відносно прості для користувача системи пошуку потрібної інформації;
- висувають мінімальні вимоги як з технічного боку, так і з боку програмного забезпечення до робочого місця клієнта (клієнт працює зі стандартним програмним забезпеченням, і єдиною вимогою є підтримка роботи WWW-переглядача – браузера одного з останніх версій);
- підтримують розподілені системи збереження інформації і численні методи її збереження;
- підтримують роботу з практично необмеженим об'ємом різнопланових даних (текст, графіка, зображення, звук, відео-, векторні карти тощо);
- надають технологічно простий спосіб адміністрування інформаційних систем з одного робочого місця;
- підтримують віддалені методи редагування та поповнення інформації.

Проекти з використанням нових технологій, як у галузі побудови геоінформаційних технологій, так і в галузі побудови мережевих інформаційних систем на основі Інтернет, спрямовані на:

- підвищення ефективності застосування ГІТ у предметних сферах;
- створення єдиного геоінформаційного простору різної тематичної спрямованості;
- відповідність міжнародному рівню наукових досліджень у галузі ГІТ;
- *ГІС²* – (ГІС про ГІС чи "ГІС у квадраті"). Цей новий тип ГІС, ймовірно, матиме можливість вивчення й аналізу не самої територіальної інформації, а значної маси вже існуючих і територіально розподілених ГІС, створених та використовуваних у різних напрямках людської діяльності. ГІС² можуть і повинні стати визначеними навігаторами по просторах ГІС, а можливо, й інших інформаційних ресурсів;
- *ГЛОБ-ГІС* – (Глобальна ГІС, GRID-ГІС). На базі зазначених нами систем і мережі Інтернет може виникнути єдина телекомунікаційна Глобальна географічна інформаційна система, в якій будуть десятки мільйонів користувачів по всьому світу. Основна концепція технології GRID – це інтеграція всіх ресурсів мережі Інтернет в єдине інтегроване середовище розподілених ресурсів, яке складе інформаційно-обчислювальну інфраструктуру майбутнього. GRID можна визначити як розподілену систему, яка зводить воедино дані, обчислювальні потужності та ресурси для подання даних. Єдиний інтерфейс повинен надавати доступ до всіх необхідних

ресурсів так, начебто ми мали справу з одним величезним "метакомп'ютером". Усі задачі, як традиційні для звичайних комп'ютерів (керування процесами, пам'яттю, файловою системою, введення-виведення тощо), так і принципово нові / старі (облік, контроль, спосіб доступу і розподілення ресурсів, забезпечення безпеки, спільна робота над набором даних у реальному масштабі часу тощо) повинен вирішувати спеціалізований комплекс програмного забезпечення на базі відповідної апаратної інфраструктури. Створення інтегрованої розподіленої інформаційно-обчислювальної мережі ґрунтується на ідеї електронних (цифрових) бібліотек. Основна задача цієї мережі – забезпечення єдиного, математично однорідного поля комп'ютерної інформації, здатного стати універсальним і машинезалежним носієм даних, програм і глобально розподілених обчислювальних ресурсів. Використання розподілених інформаційно-обчислювальних ресурсів стає магістральним напрямом розвитку сучасної комп'ютерної індустрії. На зміну окремим, незалежним комп'ютерам і суперкомп'ютерам повинні прийти групи високопродуктивних серверів, об'єднаних або в кластери, або в віртуальні системи керування обчислювальними ресурсами. Розвиток мережевих технологій сьогодні зробило можливим об'єднання розподілених по мережі комп'ютерів у потужний територіально розподілений "суперкомп'ютер";

– розвиток ГІС у напрямі інтелектуалізації їх функцій. ГІС є сприятливим середовищем для впровадження методів штучного інтелекту й експертних систем. Це викликано, з одного боку, розмаїттям і складністю даних у ГІС, з іншого – наявністю великої кількості аналітичних задач при використанні геоінформаційних технологій.

Поєднання можливостей ГІС – ДДЗ – GPS – Інтернет складе наймогутніший квартет просторової інформації, нових технологій, каналів зв'язку та наданих послуг, що будуть реалізовуватися як у Глобальній ГІС, яка володіє різними унікальними можливостями, так і в окремих спеціалізованих ГІС різного типу і класу.

Розгортання ГІС у глобальній мережі Інтернет приводить до виникнення розподіленої ГІС із багатьма активними учасниками. Вже зараз за допомогою належних стандартів web-сервісів з'являється можливість звернутися й підключитися до web-сайтів під керівництвом ГІС для інтеграції окремих наборів даних у нових додатках, які моделюють реальні процеси та явища нашого світу, підтримують безліч прикладних розробок. Такий напрям розвитку ГІС можна назвати GeoWeb – широка мережа розподілених геосервісів, які описують і моделюють відомості про нашу планету і її окремі регіони: інтегрують наші знання про місце розташування й просторові взаємозв'язки об'єктів і явищ. Ця структура вже підтримує публікацію карт і даних, каталогізацію метаданих, пошук геопросторових сервісів. Згодом вона розшириться до підтримки динамічних з'єднань між

більшою кількістю розподілених геосервісів, що забезпечують керування даними, їхній аналіз і розвинену візуалізацію. Це дасть можливість створити платформу для розв'язку глобальних проблем, для вирішення яких необхідні зусилля багатьох організацій і представників різних професій і не завжди одного регіону або країни.

Величезна популярність картографічних web-сервісів зумовлена тим, що ними можуть користуватися люди без спеціальної підготовки, покладаючись лише на свою інтуїцію та наявний досвід роботи з комп'ютером. Другим фактором зростання їх популярності є можливість встановлення легких картографічних клієнтів на мобільні пристрої, ринок яких в останні роки зростає величезними темпами, як в кількісному, так і в якісному відношенні.

Сучасне суспільство все більше і більше збагачується геопросторовими даними, доступ до яких все більше полегшується і здешевлюється. Створення інфраструктур просторових даних і поява якісних мережевих сервісів також сприяє росту популярності ГІС.

Web-картографія – це сфера комп'ютерних технологій, яка пов'язана з доставкою просторових даних кінцевому користувачеві через Інтернет.

Інструменти розробки web-картографічних додатків можна класифікувати таким чином:

- віртуальні глобуси;
- користувацькі ГІС, що інтегруються з віртуальними глобусами;
- картографічні web-сервери – програми для доступу, аналізу, обробки і розміщення джерел даних. Картографічні web-сервери дозволяють працювати з WMS-, WFS-, WPS- і CSW- специфікаціями і є комплексним геоінформаційним рішенням на основі Java. Завдяки використанню Google Web Toolkit (GWT), Hibernate, GeoTools і Spring, Geomajas пропонує корпоративне середовище для створення web-картографічних додатків. Geomajas може бути використаний для запуску корпоративної або урядової інфраструктури просторових даних. Програмне забезпечення дозволяє розробникам створювати комплексні геоінформаційні рішення для інтеграції просторових даних для сервера, вбудовані технології для web-картографії дозволяють для клієнта (через простий web-браузер) розгорнути інтерактивні і зручні геоінформаційні додатки. Все це можна зробити без відмови від цілісності логіки програмного забезпечення, надаючи натомість потужні можливості для оновлення та підтримки геоданих у середовищі тонких клієнтів, є картографічним сервером з відкритим вихідним кодом, який серед багатьох інших можливостей, реалізує специфікації OGS: WMS, WFS, WCS. Крім того, дозволяє не тільки отримувати дані для побудови на їх основі власних карт, а й редагувати одержані дані з наступним автоматичним оновленням вихідної інформації на сервері. Так, з GeoServer постачається візуальна система керування файлами

настроювань і опису даних для проектів. Ця система реалізована в вигляді web-інтерфейса і надає користувачу можливість інтерактивного створення і зміни картографічного ресурсу, що розробляється;

– фреймворк для створення web-порталів для роботи з картографічними сервісами OGC. Розробляється мовами PHP, JavaScript і XML і представляє собою гнучку та повну основу для створення багатофункціональних web-картографічних додатків, заснованих на мові Python. Наприклад, MapFish надає спеціальні інструменти для створення web-сервісів, які дозволяють створювати запити і редагувати просторові об'єкти. MapFish також надає повний JavaScript інструментарій, необхідний для web-картографування.

Open Source – це web-платформа, яка дозволяє користувачам розробляти web-картографічні додатки і просторові служби. MapGuide надає функції інтерактивного перегляду, які включають в себе підтримку вибору атрибутів, властивостей і такі операції, як створення буферної зони, вибір усередині області та виміри. MapGuide включає в себе XML-базу даних для керування вмістом та підтримує більшість популярних форматів просторових файлів, баз даних і стандартів. MapGuide може бути використаний на Linux або Windows, підтримує Apache і IIS web-сервери, та пропонує різноманітні PHP, NET, Java, JavaScript і API-інтерфейси для розробки додатків. Це одне з найпопулярніших середовищ створення картографічних web-сервісів із відкритим кодом.

Спочатку MapServer розроблявся Університетом Мінесоти спільно з Департаментом природних ресурсів штату Мінесота і NASA, а наразі підтримується як один з проектів асоціації OSGeo. Можливість роботи MapServer практично на будь-яких платформах (у тому числі Windows, Linux, Mac OS, Solaris), величезні функціональні можливості, легкість інтеграції з різними системами керування базами даних і відкритість кодів визначили популярність програми. MapServer позиціонується не як кінцевий додаток, а як середовище розробки.

GeoNetwork opensource – це стандартизоване та децентралізоване середовище керування просторовою інформацією, розроблене для доступу до баз просторових даних, картографічних продуктів і пов'язаних з ними метаданих з різних джерел, яке полегшує обмін просторовою інформацією між організаціями і її спільне використання за допомогою Інтернету. Цей підхід до керування просторовою інформацією має метою надати широкому співтовариству користувачів засоби для безперешкодного та своєчасного доступу до наявних просторових даних і існуючих тематичних карт, які можуть виявитися корисними для прийняття обґрунтованих рішень. Головна мета GeoNetwork opensource полягає в підвищенні доступності широкого спектра даних разом із супутньою інформацією. FAO і WFP, а в останній час і UNEP, об'єднали свій дослідницький і

картографічний досвіди для розробки GeoNetwork opensource як загальної стратегії для ефективного спільного використання баз просторових даних, включаючи цифрові карти, супутникові зображення і відповідні статистичні дані. Ці три організації широко використовують ПС і програмне забезпечення для обробки даних дистанційного зондування Землі головним чином для створення карт і комбінування різних шарів інформації. GeoNetwork opensource надає їм можливість доступу до широкого спектра карт і іншої просторової інформації, що зберігається в різних базах даних у всьому світі з єдиної точки входу.

З кожним роком отримується більше супутникових зображень. Дані GPS-позиціонування й моніторингу різних географічних явищ у реальному часі стають доступними як професіоналам, так і пересічним громадянам, на їх основі розробляються безліч корисних додатків.

Усі вищезазначені тенденції, перспективи, напрями і шляхи розвитку приведуть до того, що геоінформатика в XXI ст. буде комплексом наук, який ґрунтується на просторовій ідеології та використовує найсучасніші технології з переробки величезного обсягу будь-якої просторової інформації.

III. СТРУКТУРА, ФУНКЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ГІС

Людство з давніх часів використовувало просторову інформацію про навколишній світ у багатьох галузях своєї практичної діяльності. Поступово сформувався комплекс геодезичних наук і виробництв, пов'язаних із вивченням, поданням і використанням інформації про території різного рівня, складовими якого є астрономія, гравіметрія, геодезія, картографія та ДЗЗ, які тісно взаємодіючи забезпечують вихідною геопросторовою інформацією всі сфери життєдіяльності суспільства.

З появою комп'ютерних технологій виник і енергійно розвивається на стику, з одного боку, інформатики, а з іншого – географії, картографії, геодезії, методів ДЗЗ та інших сфер діяльності новий науково-виробничий комплекс – геоінформатика.

Функціонально геоінформатика використовується в зазначених галузях науки, техніки та виробництва, проте має і власні сфери наукових інтересів і діяльності. Природним у цих умовах є інтенсивне усвідомлення сутності, формування понятійно-термінологічної системи та визначення ролі геоінформатики в сучасній геодезично-картографічній діяльності.

3.1. Загальні визначення

В історії світової науки та техніки є терміни, які слугують символами відповідного відрізка часу. Такими ключовими словами у ХХ ст. були: "генетика", "кібернетика", "соціалізм", "супутник", "робот", "телебачення", "комп'ютер", "екологія", "моніторинг", "інформаційні технології". Сьогодні всі фахівці вищої кваліфікації, робота яких пов'язана з управлінням територіями, водними та земельними ресурсами, використовують термін "геоінформаційні технології".

Як уже зазначалося, ГІС – це інтегрована сукупність апаратних, програмних та інформаційних засобів, яка забезпечує введення просторово-орієнтованих даних, їх збереження, обробку, маніпулювання, аналіз і візуалізацію.

У визначенні поняття "ГІС" проглядається певна подвійність. З одного боку, ГІС розглядається як комплекс програмних і апаратних засобів, організованих за їх допомогою даних, конкретних процедур і технологій та людських інтелектуальних ресурсів, які забезпечують безпосереднє функціонування ГІС. З іншого – поняттю "ГІС" часто відповідає програмна оболонка, яка дозволяє організувати базу даних просторової інформації та здійснювати над нею різні маніпуляції. Тому можна одночасно зустріти як

вирази "ГІС ArcGIS версія 10" або "ГІС для персонального комп'ютера", так і "ГІС лісового господарства" або "Муніципальна ГІС міста Чернігова". Глибинною причиною появи такої подвійності в мові є відображення того факту, що ГІС як різновид ПЗ (як і СКБД) є тільки інструментальним засобом, оболонкою без змісту, неспроможною вирішувати будь-які практичні задачі без попереднього наповнення конкретними даними.

Ведучи мову про один і той же предмет – *геоінформаційні системи*, використовують різні терміни: *геоінформатика*, *ГІС*, *ГІТ*, *геоіконіка*, *геоматика*. Така розмаїтість термінів і трактувань – явище не випадкове, оскільки ГІС є певною системою, яка охоплює науку, техніку та виробництво. Звідси і різні акценти в термінології.

Під терміном "*геоінформатика*" зазвичай розуміють наукову дисципліну. Геоінформатика як наука вивчає природні та соціально-економічні геосистеми, їх структуру, зв'язки, динаміку, функціонування в просторі і часі за допомогою комп'ютерного моделювання на підставі просторових баз даних.

Під терміном "*ГІС*" розуміють конкретне ПЗ для створення ГІС, працюючу систему або проект її створення.

Під терміном "*геоінформаційна технологія*" (ГІТ) розуміють галузь техніки, пов'язану з обробкою просторової інформації, яка вивчає закони утворення та функціонування просторово-часової інформації, пов'язаної з географічними об'єктами і явищами, її властивості, методи збору, обробки, збереження, аналізу та розповсюдження. ГІТ у цьому випадку розглядаються як метод щодо географії, економіки, соціології тощо.

Під терміном "*геоіконіка*" розуміють наукову дисципліну, що розробляє загальну теорію геозображень, методи їхнього аналізу, перетворення й використання в науково-практичній діяльності. Це розділ геоінформатики, в якому розглядають загальну теорію геозображень, методи їх аналізу, трансформування та використання в науково-практичній діяльності. Геоіконіка як наука розвивається на перетині іконіки, цифрової картографії та фотограмметрії. Методи геоіконіки широко використовуються в технологіях ДЗЗ [96].

Під терміном "*геоматика*" розуміють галузь діяльності в науці і техніці, яка має справу з використанням інформаційних технологій і засобів комунікації для збору, зберігання, аналізу, подання, розповсюдження та управління просторово-координованою інформацією, яка забезпечує процеси прийняття рішень. Геоматика – сукупність застосувань (додатків) інформаційних технологій, мультимедіа й засобів телекомунікації для обробки даних, аналізу геосистем та автоматизованого картографування. Цей термін іноді застосовується як синонім геоінформатики або геоінформаційного картографування [96].

Геоінформатика як виробництво включає розробку апаратних і ПЗ ГІС, створення баз даних, цифрових карт, додатків. Зазначені підходи представлені в табл. 3.1.

Незважаючи на різні цілі геоінформаційного опрацювання даних, різну якість вихідних матеріалів і різних технологій їх обробки, ГІС повинні забезпечити:

- єдину систему збору й введення геопросторових даних взятих із різних джерел;
- створення, ведення, збереження баз даних на основі відомостей (зведень), що надходять до підсистеми введення;
- генерування нової похідної інформації на основі аналізу, моделювання та синтезу наявних даних;
- підготовку та видачу просторових рішень із використанням сучасних ГІТ.

Таблиця 3.1

***Розмежування значень понять
"геоінформатика" та "ГІС"***

Геоінформатика	ГІС
Науково-пізнавальний підхід	
Наукова дисципліна, що вивчає природні та соціально-економічні геосистеми (їх структуру, зв'язки, динаміку, функціонування в просторі і часі) за допомогою комп'ютерного моделювання на основі баз даних і географічних знань.	Засіб моделювання і пізнання геосистем.
Технологічний підхід	
Технологія збору, збереження, перетворення, відображення та поширення просторової інформації, метою якої є забезпечення рішення завдань інвентаризації, оптимізації й управління (геосистемами).	Технічний засіб накопичення й аналізу інформації в процесі прийняття рішень.
Виробничий підхід	
Індустрія, метою якої є виготовлення апаратних засобів і програмних продуктів, зокрема створення баз і банків даних, систем управління, комерційних ГІС різного призначення та проблемної орієнтації, формування інфраструктури й організації маркетингу.	Програмна оболонка, що реалізує ГІТ.

3.2. Структура ГІС

Під структурою ГІС розуміють сукупність її властивостей, які є істотними, з точки зору здійснюваного дослідження, і які мають інваріантність¹² в інтервалі функціонування.

Структура ГІС визначається складом елементів, їх кількістю, розташуванням і взаємозв'язками при виконанні нею функцій. Структуру типових ГІС можна представити у вигляді основних функціональних підсистем (рис. 3.1).

Кожна з підсистем виконує певні функції, і відсутність хоча б однієї з них свідчить про неповноцінність ГІС.

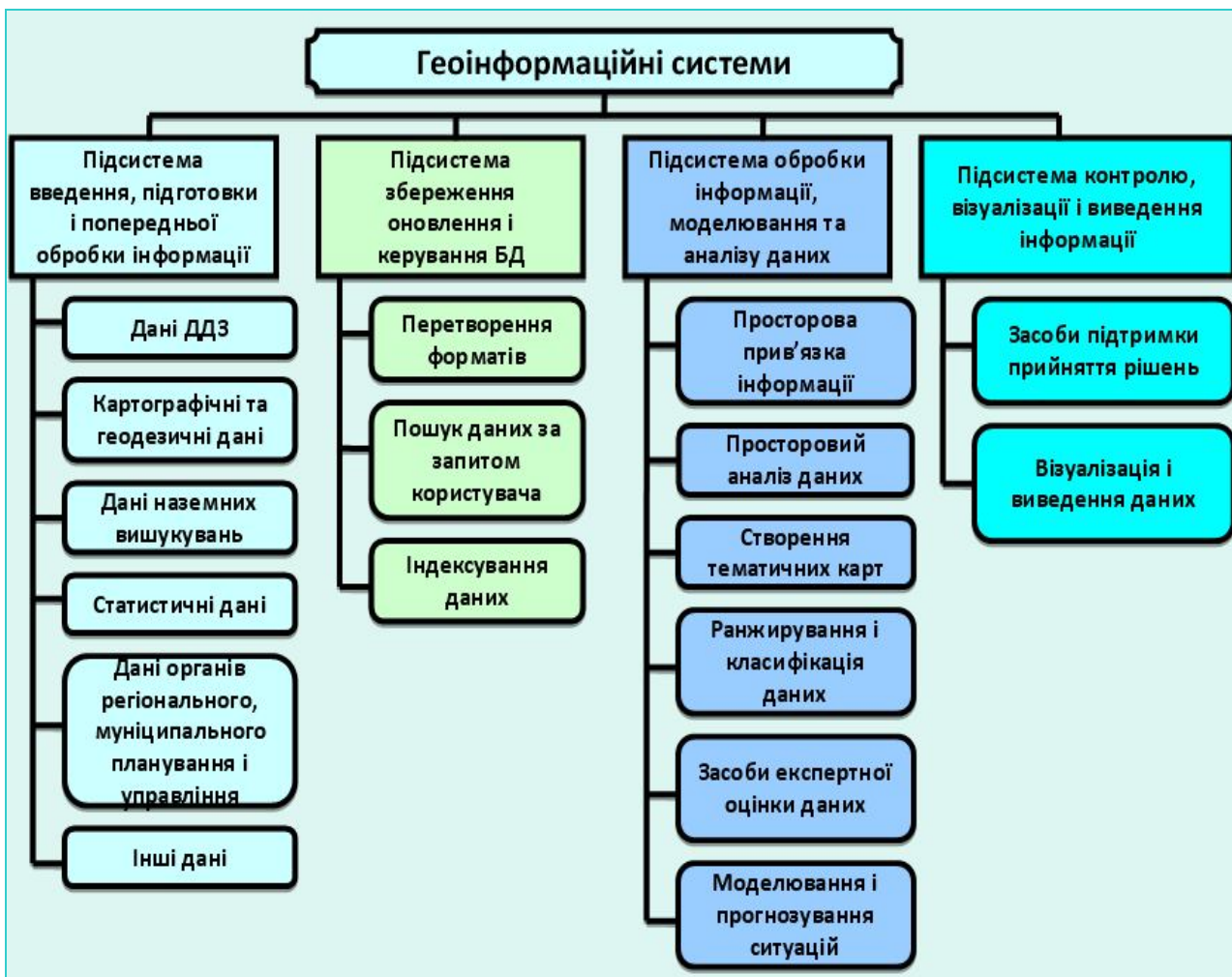


Рис. 3.1. Функціональні блоки ГІС

¹²**Інваріанти** (від лат. *invarians* – незмінний) – величини, співвідношення, властивості тощо, які залишаються сталими.

3.2.1. Підсистема введення, підготовки та попередньої обробки інформації

Перед тим, як використовувати структури даних, моделі та ГІС, необхідно перетворити існуючу реальність даних у форму, зрозумілу комп'ютеру. Методи, за допомогою яких буде виконуватись уведення даних, залежать від наявного обладнання і від типу використовуваної ГІС.

По-перше, підсистема введення проектується для перенесення графічних та атрибутивних даних у комп'ютер.

По-друге, вона повинна відповідати хоча б одному з двох фундаментальних методів подання графічних об'єктів – растровому або векторному.

По-третє, вона повинна мати зв'язок із системою збереження й редагування, щоб гарантувати збереження та можливість вибірки того, що буде введено, надавати можливість видалення помилок і внесення змін у разі необхідності.

Основна функціональна задача цієї підсистеми – створення цілісного інформаційного цифрового образу досліджуваного об'єкта (процесу, явища) на основі перетворення географічної інформації в цифровий вид і введення її в комп'ютер.

Джерелами даних можуть бути (рис. 3.1) дані дистанційних досліджень Землі, паперові і цифрові картографічні дані, дані польових тощо.

Значні потенційні можливості для збору даних для ГІС надає GPS (Global Positioning System) – технологія, що створена на основі космічних систем глобальної навігації NAVSTAR (США), Galileo (ЄС) і ГЛОНАСС (Росія). Ця технологія призначена для збору високоточної цифрової інформації про місцевість, фактичні топографічні дані (географічні координати та позначки висоти рельєфу в певній точці місцевості), при цьому точність вимірів досягає декількох сантиметрів.

Підсистема введення, підготовки та попередньої обробки даних призначена для збору і попередньої обробки даних із різних джерел і відповідає за перетворення різних типів просторових даних (наприклад, від ізоліній топографічної карти до моделі рельєфу ГІС) у цифровий формат.

Задачі підсистеми введення, підготовки та попередньої обробки даних представлені на рис. 3.2.

За оцінками спеціалістів у галузі ГІТ [22], витрати на збір і введення даних при реалізації геоінформаційних проектів у 5–10 разів перевищують витрати на апаратно-програмне забезпечення ГІС. Це пояснюється тим, що існуючі наразі технології автоматизованого введення графічних і текстових даних забезпечують введення не більше 20 % від загального об'єму даних. Тому для ГІС особливе значення має подальший розвиток автоматизованих методів збору та введення всіх типів даних.



Рис. 3.2. Задачі підсистеми введення, підготовки та попередньої обробки даних

Для забезпечення можливості імпорту цифрових даних від різних джерел, підсистема введення, підготовки та попередньої обробки інформації ГІС повинна мати програмні засоби розробки інтерфейсів для введення даних різних форматів.

Створення норм зі стандартизації й уніфікації форматів даних, цифрових моделей місцевості, картографічних документів, інтерфейсів має вирішальне значення для успішної реалізації підсистеми збору даних ГІС.



Рис. 3.3. Пристрої введення даних у ГІС

Методи введення можуть бути різними (рис. 3.3):

1) *за допомогою клавіатури (миші) комп'ютера* (ручне введення). Використовується, в основному, для введення атрибутивних даних, іноді

для введення позиційних даних. Крім того, може застосовуватись при операціях ручного цифрування та як окрема операція;

2) **за допомогою геодезичних приладів** при здійсненні польових вимірів. Має надзвичайно високий рівень точності проте є одним з найдорожчих методів. Найбільше поширення цей метод отримав для введення даних земельного кадастру;

3) **за допомогою дигітайзера** при ручному цифруванні. Найбільш поширений метод введення просторових даних із карт. Ефективність методу визначається ПЗ і вмінням та досвідом оператора. Потребує багато часу, допускає багато похибок;

4) **за допомогою сканера** при скануванні картографічних зображень і знімків дистанційного зондування території. Мінімальний фрагмент карти, який можна відсканувати, не перевищує 0,02 мм. Крім того, знімок, зазвичай, потребує обробки й редагування для покращання якості та маркування для забезпечення взаємозв'язку з атрибутами;

5) **за допомогою введення цифрових файлів**. Придбання та використання існуючих цифрових наборів даних є найбільш ефективним й швидким способом наповнення бази даних ГІС.

Використання комп'ютера та інших електронних пристроїв, наприклад, дигітайзера або сканера, дозволяє здійснювати підготовку вихідних даних для запису та їх кодування для подальшого використання.

Введення даних – процедура кодування даних у форму, яку може прочитати комп'ютер і здійснити їх запис до бази даних ГІС.

Введення даних у ГІС передбачає виконання таких кроків:

- збір даних;
- редагування та "очищення" даних;
- геокодування даних.

Примітка. При подальшому викладенні матеріалу, будемо розглядати традиційну систему організації даних: роздільне подання позиційної (графічної) й атрибутивної (аналітичної, семантичної) інформації та зв'язків між просторовими об'єктами.

Створення цифрової бази даних – найважливіша і найскладніша задача, від якої безпосередньо залежить корисність ГІС. Процес уведення даних у ГІС передбачає три етапи:

- введення просторових даних (цифрування або дигіталізація);
- введення непросторових (атрибутивних) даних;
- встановлення зв'язку між просторовими та непросторовими даними.

Два останніх етапи іноді називають *попередньою обробкою даних*. У процесі такої обробки нагромаджується новий клас даних – метадані (дані про дані). Метадані зазвичай містять інформацію про дату одержання, точність позиціонування, точність класифікації, ступінь повноти, метод, який використовується для одержання та кодування даних.

Основними вимогами до підсистеми введення та перетворення даних є такі:

– *по-перше*, підсистема введення повинна бути спроектована таким чином, щоб забезпечити можливість перенесення графічних й атрибутивних даних у базу даних ГІС;

– *по-друге*, підсистема введення повинна відповідати хоча б одному з двох фундаментальних методів подання графічних об'єктів – растровому або векторному;

– *по-третє*, підсистема введення повинна мати зв'язки з системою збереження й редагування, для гарантування збереження та можливості вибірки того, що буде введено, надавати можливість усунення похибок і внесення за необхідності змін.

Підсистема введення та перетворення даних є вхідним технологічним модулем для ГІТ. На його виході формується набір цифрових даних, який розміщується на машинних (комп'ютерних) носіях інформації і має коректну топологічну й логічну структуру з необхідною точністю та достовірністю.

Перед введенням даних спочатку необхідно визначити, яка ж модель подання даних (векторна або растрова) буде використовуватись, а також чи буде здатна наявна ГІС конвертувати ці типи даних з одного виду в інший. Деякі програми працюють головним чином на растрових структурах даних, тоді як інші оперують векторною інформацією. При виборі тієї чи іншої технології (способу) введення, необхідно:

- проаналізувати характер даних, які підлягають обробці;
- визначити мету введення;
- оцінити вартість програмного продукту;
- порахувати трудові витрати;
- порахувати потрібну кількість матеріалів тощо.

Правильна підготовка вихідних даних може скоротити витрати й час, необхідні для етапу введення даних до ГІС.

Вхідна інформація для ГІС може отримуватись:

- *у польових умовах геодезичними (польовими) методами;*
- *за допомогою системи глобального супутникового позиціонування.*

При русі по орбіті супутник GPS, Gallileo або ГЛОНАСС випромінює сигнал певної частоти, номінал якої відомий користувачу. Положення штучного супутника Землі (ШСЗ) у кожний момент часу можна вважати також відомим, тому що його можна обчислити на підставі сигналу супутника. Користувач, вимірюючи частоту сигналу, що надійшов, порівнює її з еталонною частотою, обчислюючи таким чином зсув частоти, яка зумовлена рухом супутника. Використовуючи залежність стрімкості кривої частоти від відстані між користувачем і ШСЗ та вимірявши момент часу, можна обчислити координати місця розташування об'єкта;

- *фотограмметричними методами* (використання технології отримання й обробки різних фотознімків; космічне знімання зі штучних супутників Землі; аерофотознімання; знімання з малих носіїв (гелікоптери, авіамоделі); наземне знімання (фототеодоліти, фотокамери), які передбачають застосування попередніх процедур фотограмметричної обробки);
- *методами дистанційного зондування* (системами з традиційною фотографічною реєстрацією; системами сканування в реальному часі, які передають інформацію на Землю по каналах зв'язку; радіолокаційними (радарними), знімальними системами (опромінення об'єкта активною станцією й фіксація відбиття випромінювання); системою отримання інфрачервоних (теплових) знімків (фіксування випромінювання в тепловому діапазоні));
- *цифруванням паперових карт*. Застосування картографічних матеріалів як вихідних даних для формування баз даних зручне й ефективно за низкою причин. По-перше, атрибутивні характеристики, отримані з картографічних джерел, мають територіальну прив'язку; по-друге, в них відсутні пропуски, "білі плями" в межах зображуваного простору (території, акваторії тощо); по-третє, на сьогодні користувачам доступна велика кількість технологій переведення цих матеріалів у цифрову форму;
- *з інших ГІС, архівів (каталогів координат)* тощо. Джерелами даних можуть бути існуючі цифрові карти, цифрові моделі рельєфу, цифрові ортофотознімки тощо.

Інформацією про якість даних можуть слугувати:

- дата отримання;
- точність позиціонування;
- точність класифікації;
- повнота;
- метод, що використовувався для отримання й кодування даних.

Для реалізації функції прийому та попередньої обробки даних апаратно-програмні засоби ГІС повинні забезпечити введення та сприйняття даних з різних пристроїв.

Не існує будь-якого одного універсального способу введення даних у ГІС. Вибір методу введення залежить від подальшого використання системи, наявних засобів й типу даних, що вводяться (карти, ДДЗ, дані з наземних пунктів спостереження, статистична інформація тощо), а також структури використання бази даних.

Процес перетворення даних з паперових карт у комп'ютерні файли називається цифруванням.

Проблеми цифрування карт. Кількість похибок у базі даних ГІС безпосередньо пов'язана з рівнем похибок вихідних карт, оскільки карти не завжди адекватно відображають інформацію і не завжди точно передають координатні дані просторових об'єктів. Похибки цифрування представлені на рис. 3.4.

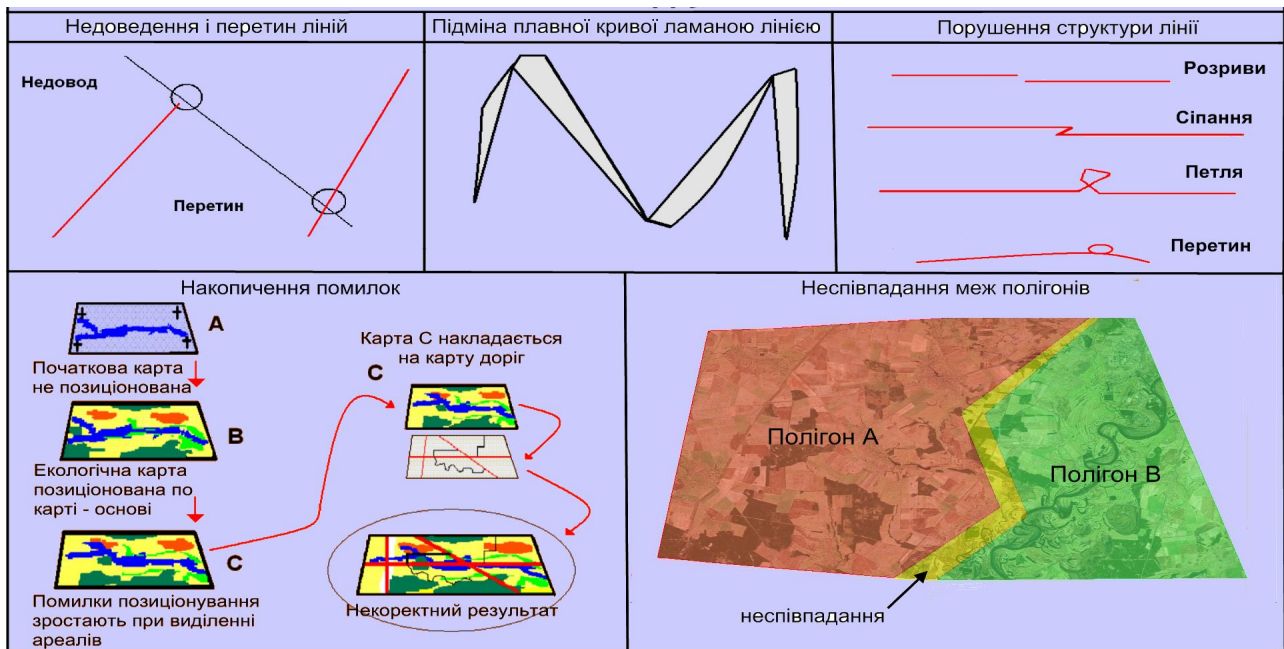


Рис. 3.4. Похибки цифрування картографічних зображень

Програмні засоби попередньої обробки даних повинні забезпечувати:

- можливість здійснення векторизації вихідних графічних даних;
- редагування векторизованих даних;
- фільтрацію й стиснення вихідної інформації;
- конвертування даних у необхідні формати.

Підсумовуючи вищенаведене, слід зазначити, що основним функціональним завданням підсистеми введення, підготовки та попередньої обробки інформації є створення цілісного інформаційного цифрового образу досліджуваного об'єкта або явища в просторових межах, тобто формування баз просторових і атрибутивних даних ГІС.

3.2.2. Підсистема збереження, оновлення й керування базами даних

Підсистема збереження, оновлення й керування базами даних призначена для організації просторових даних з метою їх вибірки (обслуговування запитів на інформаційний пошук, які надходять у систему), відновлення та редагування.

Ядром ГІС є база даних, під якою розуміють поіменовану сукупність даних, які відбивають стан об'єкта, його властивості та взаємовідношення з іншими об'єктами, а також комплекс технічних і програмних засобів для ведення цих баз даних.

Підсистема збереження, оновлення й керування базами даних, повністю відповідає уявленням про функції комп'ютера як ефективного засобу для збереження й обробки інформації.

Формати даних, що зберігаються в ГІС, представлені на рис. 3.5.

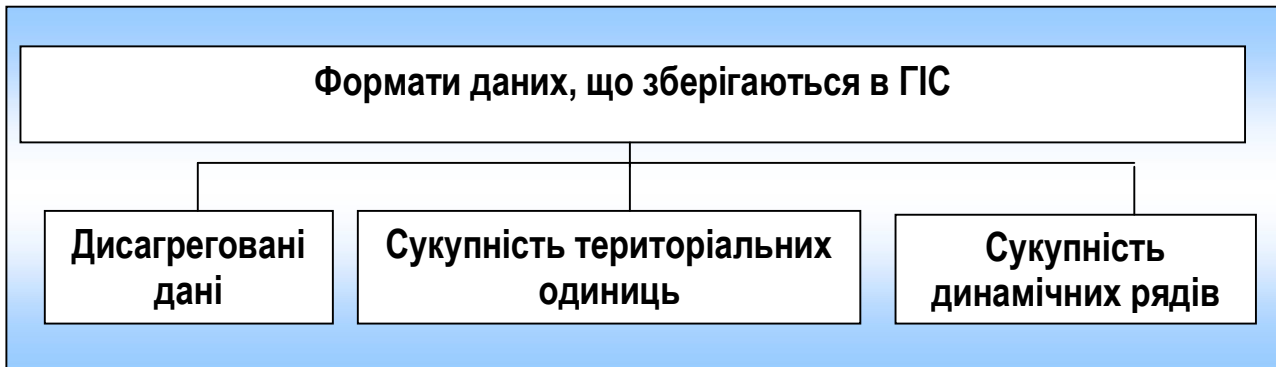


Рис. 3.5. Формати даних, що зберігаються в ГІС

Формування структури ГІС починається з формування баз даних, які ґрунтуються на територіальній (географічній) прив'язці даних.

Для роботи з файлами баз даних необхідна система керування базою даних (СКБД) – один з основних компонентів ГІС, який значною мірою визначає ефективність роботи ГІС. СКБД ГІС здійснює автоматичний пошук у базі даних інформації, необхідної для обробки користувацьких запитів. Можливості СКБД, а також структура бази даних і обсяг інформації, що міститься в ній, фактично визначають рівень складності користувацьких запитів, які система може обробити.

Підсистема зберігає явно або неявно координати просторових (точкових, лінійних і площинних) об'єктів і пов'язані з ними описові характеристики (атрибути) та дозволяє створювати запити, які надають користувачеві тільки потрібну, конкретну, контекстнопов'язану інформацію. Підсистема акцентує увагу не на загальній інтерпретації інформації, а на формулюванні адекватних запитів.

Для збереження геометричних (графічних) даних дуже важливою характеристикою ПЗ є *набір моделей*, які підтримують подання цих даних. Моделі подання метричних даних визначають потенційну можливість і характер операцій просторової обробки інформації в ГІС.

У невеликих проектах просторова інформація може зберігатись у вигляді звичайних файлів. Однак при збільшенні об'єму інформації та кількості користувачів для збереження, структурування й управління даними доцільно використовувати СКБД, серед яких виділяються *ієрархічні, мережеві, реляційні та об'єктно-орієнтовані* моделі. Серед зазначених моделей, реляційна залишається найбільш поширеною в структурі інструментальних засобів ГІС.

Підсистема збереження, оновлення й керування базами даних – це друга за важливістю складова, яка визначає ефективність роботи ГІС.

База даних ГІС включає графічні й атрибутивні дані, які можуть зберігатись разом (рис. 3.6 а) або окремо (рис. 3.6 б).

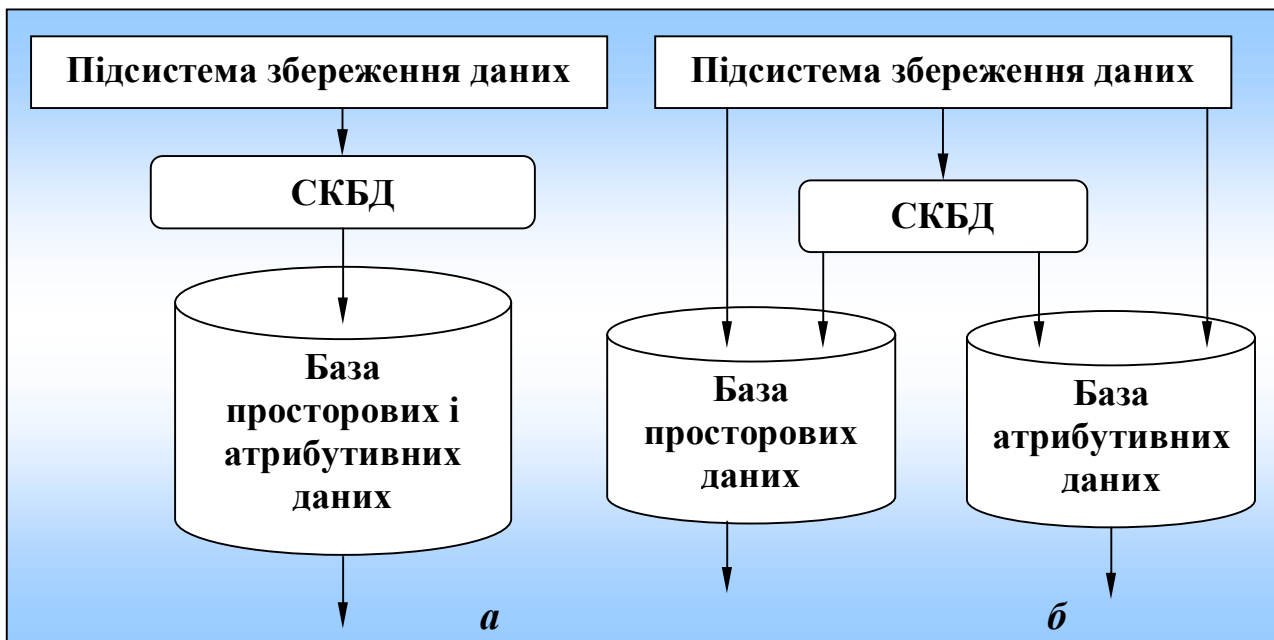


Рис. 3.6. Способи збереження просторових і атрибутивних даних:
а – в одній базі даних; б – у різних базах даних

СКБД ГІС здійснює автоматичний пошук у БД інформації, необхідної для обробки запитів користувачів. Можливості СКБД, а також структура БД і об'єм інформації, що міститься в ній, фактично визначає рівень складності запитів користувачів, які система спроможна опрацювати.

Різна природа просторових (графічних) і атрибутивних (семантичних) даних визначає проблему керування цими даними.

У сучасних ГІС розв'язок цієї проблеми здійснюється різним чином, маючи свої переваги та недоліки.

Більшість сучасних ГІС мають дві окремі СКБД (для просторових і семантичних даних). При цьому як СКБД семантичних даних використовується одна з найбільш поширених СКБД реляційного типу (MS Access, Oracle, Ingres, FoxBase, FoxPro, PARADOX тощо). При цьому СКБД семантичних даних повинна мати інтерфейс зі СКБД графічних (картографічних) даних, яка повинна забезпечити:

- збереження і маніпулювання точковими, лінійними і площинними графічними об'єктами;
- багаторівневе (пошарове) подання просторових даних;
- довільну вибірку та відображення будь-яких фрагментів графічних зображень.

Такий підхід має низку недоліків:

- необхідність призначення топологічних зв'язків між просторовими об'єктами та їх атрибутивним описом;

- недостатню гнучкість табличної організації семантичних даних;
- неспроможність розпізнавати ієрархічні відношення класів об'єктів.

Крім того, СКБД просторових і атрибутивних даних цілком поєднана, а це ускладнює маніпулювання атрибутивними даними, оскільки їх структура є нереляційною.

Зазначені недоліки можна усунути шляхом застосування об'єктно-орієнтованого підходу при проектуванні підсистеми збереження, оновлення й керування базами даних.

Крім збереження графічної і текстової (атрибутивної) інформації, сучасні інструментальні ГІС надають можливість пов'язування графічних об'єктів на цифрових картографічних зображеннях із візуальною (фото-, відео-) та звуковою інформацією. Прикладом використання цієї можливості може слугувати звуковий супровід про об'єкт, записаний на жорсткий диск.

3.2.3. Підсистема обробки інформації, моделювання й аналізу даних

Підсистема обробки, моделювання й аналізу даних призначена для організації обробки даних, забезпечення процедур їх перетворення, математичного моделювання та поєднаного аналізу шляхом генералізації¹³, агрегації¹⁴, встановлення параметрів і обмежень за допомогою моделюючих функцій.

Задачі підсистеми обробки, моделювання й аналізу даних представлені на рис. 3.7.

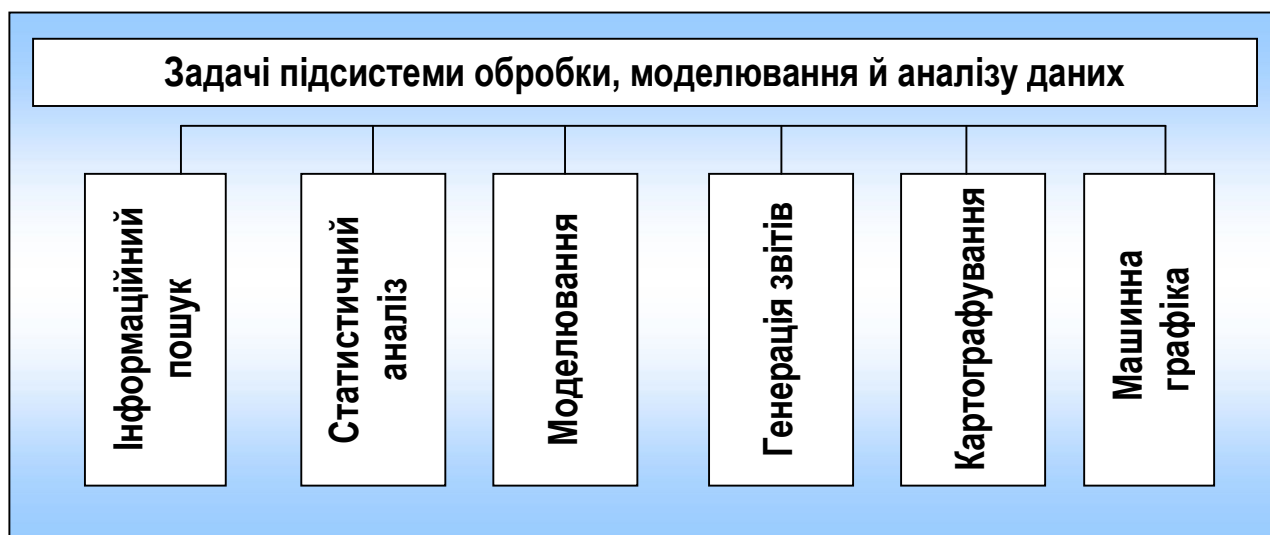


Рис. 3.7. Задачі підсистеми обробки, моделювання й аналізу даних

¹³**Генералізація** картографічна (від лат. generalis – загальний) – процеси відбору й узагальнення географічних об'єктів (населених пунктів, річок тощо) для складання географічних карт.

¹⁴**Агрегація** (від лат. aggregatio – приєднання) – злипання, з'єднання, утворення агрегату.

Оскільки характерною особливістю ГІТ є обробка просторово-часових, географічно координованих даних, то картографічні матеріали та цифрові зображення є як джерелами даних при створенні геоінформаційних фондів (бібліотек) ГІС, так і підсистемами подання, генерації й обробки картографічних даних.

Аналітичний апарат ГІС прямо пов'язаний з різними галузями прикладної математики (обчислювальної геометрії), з машинною графікою, розпізнаванням образів, аналізом сценаріїв, цифровою фільтрацією й автоматичною класифікацією в блоці обробки цифрових зображень растрових ГІС, геодезією та картографією.

Аналіз даних є прерогативою користувача, однак підсистема аналізу дозволяє значно спростити і полегшити аналіз просторово пов'язаних даних, практично виключити ручну працю і значною мірою спростити розрахунки, виконувати користувачем. Цей блок є головним модулем ГІС, який, в основному, й визначає цільову спрямованість обробки даних для конкретної просторової задачі. Він складається з пакетів прикладних програм і процедур, які утворюють предметний геоінформаційних додаток. Основними функціями цього блоку є функції просторового аналізу.

Ядром цієї підсистеми є система цифрового картографування (СЦК), яка виконує функції введення, редагування оперативного перегляду та інтерактивних вимірів цифрових карт і зображень. СЦК повинна забезпечувати комфортне середовище як для розробників основних компонент ГІС, так і для користувачів.

Дуже важливою у даному випадку є технологія поєднання растрового і векторного форматів подання даних. Призначення СЦК – комплексне створення та редагування цифрових карт, елементів їх інформаційного забезпечення (системи умовних знаків і класифікатора інформації) з метою отримання й оновлення картографічних даних і створення моделей геоінформаційних процесів.

3.2.4. Підсистема контролю, візуалізації та виведення інформації

Після виконання будь-якого аналізу, потрібно подати результати цього аналізу. Програмні засоби ГІС повинні забезпечити візуалізацію просторових та інших графічних і відеоданих, а також результати виконання різних запитів. Крім того, ці засоби повинні мати можливості створення "твердих копій" для різних широкоформатних пристроїв, таких, як струменеві плотери, принтери або машини для фотодруку.

Підсистема контролю, візуалізації та виведення інформації призначена для відображення всієї бази даних або її частини в табличній, діаграмній або картографічній формі.

У картографії (традиційній паперовій, її цифровому еквіваленті або комп'ютерній картографії), вихідним продуктом залишається карта, проте, оскільки у карт бувають різні користувачі, то виведення даних може відбуватись у різних тематичних формах і форматах. У реальному житті типи можливого виведення даних диктуються сферою застосування ГІС або ПЗ, що використовується.

Пристрої візуалізації даних представлені на рис. 3.8.

Інтерфейс користувача ГІС повинен відповідати вимогам фізичного та психологічного комфорту користувача, бути ефективним, швидкодіючим, володіти можливостями адаптації під конкретного користувача, поєднувати можливості інтерактивного введення, текстових і графічних меню, повинен забезпечувати багатовіконне відображення графічних даних з можливістю відкриття необмеженої кількості вікон, пов'язувати з вікнами як різноманітні зображення, так і фрагменти одного і того ж зображення, поданих у різних масштабах.



Рис. 3.8. Підсистема обробки й аналізу даних

Ефективність і швидка дія інтерфейсу користувача повинні забезпечуватись за рахунок максимального використання можливостей, наданих апаратним забезпеченням (просторове та кольорове розрізнення графічних адаптерів, графічні співпроцесори) і системним програмним забезпеченням (багатовіконні графічні середовища, інтегровані оболонки програмування). Інтерфейс користувача повинен мати доступ до вбудованої та розвинутої системи допомоги (HELP-системи).

3.3. Функції ГІС

Функція (від лат. *function* – виконання, здійснення, завершення) – **специфічна діяльність системи, спрямована на виконання певних цілей.**

Під функцією ГІС зазвичай розуміють:

- дію, її реакцію на навколишнє середовище;
- множину станів виходів;
- при описовому або дескрипторному підході вона виступає як властивість системи, яка розгортається в динаміці;
- процес досягнення мети;
- узгоджені між елементами дії в аспекті реалізації системи як цілісного утворення.

Виконання ГІС своїх функцій називається функціонуванням системи.

Поняття функції використовується в різних значеннях. Воно може означати й здатність до виконання певних завдань і виконання певних завдань.

Стратегію створення будь-якої ГІС визначають *функції*, які вона буде виконувати. Крім традиційних функцій, притаманних будь-якій ІС, – збору, збереженню, обробці й передачі інформації, – ГІС повинні володіти додатковими функціями розв’язку задач моделювання та прогнозування даних, підтримки прийняття рішень тощо.

Умовно функції ГІС можна поділити на вісім груп (рис. 3.9) [22].



Рис. 3.9. Функції ГІС

1. Інформаційно-довідкові функції – створення та ведення банків просторово-координованої інформації, у тому числі:

- створення цифрових (електронних) атласів. Перший комерційний проект розробки цифрових атласів – "Цифровий атлас світу" – був створений у 1986 р. фірмою Delorme Mapping Systems (США). Можна також відзначити "Цифровий атлас Великої Британії" на оптичних дисках (розробка британського Domesday Project (1987)), "Цифрову карту світу" (Digital Chart of the World) масштабу 1:1 000 000, розроблену Картографічним агентством Міністерства оборони США в 1992 р. тощо і, нарешті, – електронну версію Національного атласу України, розроблену Інститутом географії НАН України і фірмою "Інтелектуальні Системи, Гео" (Київ, 2000);

- створення та ведення банків даних систем моніторингу. Наприклад, "Глобальний ресурсний інформаційний банк даних" (Global Resources Information Database, GRID), створений під егідою UNESCO в 1987–1990 рр., і "Геоінформаційна система країн Європейського Співтовариства" CORINE, розроблена в 1985–1990 рр.;

- створення й експлуатація кадастрових систем, насамперед автоматизованих земельних інформаційних систем (АЗІС) або Land Information Systems (LIS), і муніципальних (або міських) автоматизованих інформаційних систем (МАІС), а також простороворозподілених автоматизованих інформаційних систем водного та лісового кадастрів, кадастрів нерухомості тощо.

Програмне забезпечення роботи з просторовими даними в кадастрових системах складають програмні геоінформаційні пакети ArcInfo, Arc View GIS, MGE Intergraph, MapInfo (США), SICAD (Німеччина), ILWIS (Нідерланди) тощо.

2. Консультаційно-експертні функції – розв'язок задач обробки первинної інформації в межах довідково-аналітичних і експертних систем.

3. Функції автоматизованого картографування – створення високоякісних загальногеографічних і тематичних карт, які відповідають сучасним вимогам до картографічної продукції. Функції автоматизованого картографування повинні забезпечувати роботу з картографічними даними ГІС з метою їх відбору, оновлення й перетворення для виробництва високоякісних карт і рисунків.

Функції автоматизованого картографування повинні включати можливості:

- *векторно-растрових перетворень* (rasterization, rasterisation, gridding, vector to raster conversion – синонім растеризація) – перетворення (конвертування) векторного подання просторових об'єктів у растрове шляхом присвоювання елементам растру значень, що показують належність або неналежність їм елементів векторних записів об'єктів);

- *растрово-векторних перетворень* (vectoring, vectorization векторизація). Векторизацію можна виконувати вручну, інтерактивно проходячи по комірках растру, або в автоматичному режимі;
- *перетворень координатної системи*;
- *перетворень картографічних проєкцій і масштабів*;
- *"склеювання" окремих аркушів*;
- *здійснення картометричних вимірів* (обчислення площ, відстаней);
- *розміщення текстових написів і позамасштабних картографічних знаків*;
- *формування макета для друку*.

4. Функції просторового аналізу та моделювання природних, природно-господарських і соціально-економічних територіальних систем, що ґрунтуються на унікальних можливостях, наданих картографічною алгеброю, геостатистикою та мережевим аналізом, які складають основу аналітичних блоків сучасних інструментальних ГІС з розвиненими аналітичними можливостями. Ці функції реалізуються в наукових дослідженнях, а також при вирішенні широкого кола прикладних завдань при територіальному плануванні, проектуванні й управлінні.

Функції просторового аналізу повинні забезпечувати спільне використання й обробку картографічних і атрибутивних даних в інтересах створення похідних картографічних даних. Функції просторового аналізу повинні включати:

- вимірювальні операції;
- аналіз географічної близькості;
- аналіз просторового розподілу об'єктів;
- аналіз мереж;
- топологічне накладення полігонів (оверлейні операції);
- вимір атрибутивних даних;
- інтерполяцію та ізолінійне картографування полів;
- обчислення та побудову буферних зон.

5. Функції моделювання та прогнозування процесів природних, природно-господарських і соціально-економічних територіальних систем. Прикладами є сучасні просторово-розподілені моделі поверхневого стоку, змиву ґрунту та транспортування схилових і руслових наносів, різних забруднювачів, зокрема, LISEM, Csredis (Нідерланди), WEPP (США). Реалізуються при оцінці й прогнозі поведінки природних і природно-господарських територіальних систем та їх компонентів при розв'язанні різних наукових і прикладних завдань, у тому числі пов'язаних з охороною та раціональним використанням природних ресурсів.

6. Функції підтримки прийняття рішень у плануванні, проектуванні та управлінні. Найбільш активно цей напрям в Україні розвивається в містобудівному плануванні та проектуванні. Певні успіхи є в галузі

геоінформаційного забезпечення надзвичайних ситуацій. Діапазон прикладів тут може бути досить широким, якщо гнучко підходити до визначення змісту поняття "система підтримки прийняття рішень" (СППР), яка повинна передбачати:

- програмно-організовані банки просторової й атрибутивної інформації;

- базу знань, що складається з блоків аналізу та моделювання, з набором моделей просторового аналізу і просторово-часового моделювання, а також довідково-інформаційного блоку, який містить формалізовану довідково-нормативну базу з розглядуваної проблеми;

- блок технологій штучного інтелекту, який забезпечує механізм формально-логічного висновку й ухвалення рішення на основі інформації, наявної в базі даних, довідково-інформаційному блоці та результатах просторово-часового аналізу та моделювання;

- інтерфейс користувача.

На практиці у багатьох випадках як СППР розглядаються інтегровані комп'ютерні системи, що містять систему програмно-реалізованих моделей, банк довідкової інформації та банк даних. Аналіз і оцінка результатів імітаційного або оптимізаційного моделювання виконуються поза системою кваліфікованим експертом або групою експертів.

7. Керуючі та транспортні функції забезпечують вирішення задач оперативного доведення управлінських рішень до виконавців.

8. Контрольні функції дозволяють оцінити ефективність рішень, що приймаються, і забезпечують контроль за ходом їх виконання.

3.4. Геоінформаційні технології

У геоінформатиці велику роль відіграє технологічний аспект, що охоплює питання організації даних, їхнього збору, інтегрування, обробки та інтерпретації [6].

Геоінформаційні технології (Geographic Information Technologies) – це сукупність методів і прийомів для збору й обробки географічної (просторової) інформації.

Людина у своїй діяльності використовує дві технології – технології пристосування до навколишнього середовища і технології перетворення середовища в відповідності до своїх потреб. Обидва типи вищезазначених технологій сьогодні в більшому ступені реалізуються з використанням методів геоінформатики.

Геоінформаційні технології (ГІТ) дозволяють накопичувати знання про навколишній світ у сучасній цифровій формі, наочно відображати їх у вигляді динамічних електронних карт, швидко інтегрувати інформацію з будь-якого місця або регіону й поширювати її в режимі реального часу.

В основі ГІТ первісно був закладений *принцип інтеграції*. Кожний об'єкт, процес або явище має своє місце розташування, яке виступає сполучною ланкою між величезним обсягом, здавалося б, непорівнянних фактів, спостережень та інформації про об'єкти реального світу, яку ми щодня одержуємо. Просторові взаємини дозволяють одержати загальну картину реальності, допомагають упорядкувати наявні дані, звести їх до виду, зручного для осмислення й аналізу.

У праці [15] виділені три складові ГІТ:

– *технології ГІС (Geographic Information Technologies)* – це технології введення, інтегрування, збереження, обробки, аналізу, моделювання й візуалізації географічної інформації;

– *технології дистанційного зондування Землі (Remote Sensing – RS)* – це технології отримання інформації про поверхню Землі та середовище за допомогою орбітальних супутників Землі. Сигнали, отримані приймачами інформації на Землі, трансформуються у цифрові зображення для вивчення, обробки та інтерпретації;

– *технології позиціонування (Global Positioning System, GPS)* – це технології визначення місця розташування на Землі, обробка даних інтегрованих у середовище ГІС засобами глобальних навігаційних систем, комбінованими засобами глобальних навігаційних систем і засобами електронних геодезичних вимірів.

Обробка даних дистанційного зондування Землі та даних позиціонування виконується інтегрованими в ГІС засобами, що дає підставу відносити ці технології до геоінформаційних технологій.

ГІТ призначені для підвищення ефективності процесів управління, збереження і подання інформації, обробки та прийняття рішень. ГІТ, як і всі технології взагалі, знаходяться в процесі постійного удосконалення.

На сьогодні ГІС – це багатомільйонна індустрія, в яку залучені мільйони людей у всьому світі. Цю технологію застосовують практично у всіх сферах людської діяльності (аналіз таких глобальних проблем, як перенаселення, забруднення території, голод і перевиробництво сільськогосподарської продукції, скорочення лісових угідь, природні катаклізми, вирішення таких завдань, як пошук найкращого маршруту руху між двома пунктами, підбір оптимального розташування нового офісу, пошук будинку за його адресою, прокладка трубопроводу або лінії електропередач на місцевості, різні задачі управління територіями, наприклад, реєстрації земельної власності тощо).

На ринку ГІС з'являються нові продукти, частина з яких зазнає невдач, а частина продовжує використовуватися та вдосконалюватися. Навколишній світ швидко змінюється і потреби користувачів змінюються разом з ним. Усе це породжує нескінченну розмаїтість, а отже, ситуацію нескінченного вибору, яка, щоправда, мало що дає, коли складність вибо-

ру перевищує здатності індивідуума вичленувати головне. Доводиться вишукувати методи зменшення складності, щоб шляхом спрощення вирішити, що є важливим, а що ні.

ГІТ – це сукупність методів і програмно-технічних засобів, поєднаних у технологічний ланцюжок, який забезпечує збір, обробку, збереження, поширення та відображення просторової інформації з метою зменшення працездатності процесів використання інформаційного ресурсу, а також підвищення їх надійності й оперативності.

ГІТ умовно можна розподілити на такі групи:

- створення та вдосконалення апаратно-програмних засобів;
- забезпечення взаємодії з користувачами;
- створення баз геопросторових даних і управління ними;
- збір просторової інформації;
- обробка інформації;
- розповсюдження інформації;
- цифрування інформації;
- геокодування;
- розробка та вдосконалення форматів збереження даних;
- розробка засобів конвертування;
- розробка процедури трансформації й оверлея;
- просторове та геостатистичне моделювання;
- картографічна візуалізація тощо.

Створення та вдосконалення апаратно-програмних засобів. Програмне забезпечення ГІС повинне задовольняти різні вимоги і бути простим, але багатофункціональним, володіти засобами адаптації та розробки додатків, мати невисоку вартість.

Забезпечення взаємодії з користувачами. Дана група технологій призначена для забезпечення взаємодії користувачів з програмним забезпеченням ГІС. При цьому технології створення інтерфейсу поділяються на дві групи:

- 1) технології створення службового інтерфейсу для здійснення дій системного адміністратора ГІС і забезпечення працездатності системи;
- 2) функції інтерфейсу кінцевого користувача.

Конкретні технології цієї групи є загальнотехнічними та застосовуються у більшості програмних комплексів. Основними з них є:

- використання національних термінів предметної галузі;
- налагодження елементів інтерфейсу з урахуванням вимог конкретного користувача;
- розмежування доступу до операцій залежно від пріоритету (прав) користувача, доступ за паролем;
- використання спадаючих і спливаючих меню, "гарячих" клавіш;

- вибір команд із підказками або без підказок;
- отримання відповідей за замовчуванням;
- видача повідомлень про стан виконання операцій (виконання, тривалість операції, збій, завершення тощо);
- виведення попереджуючих повідомлень перед виконанням відповідальних операцій;
- захист від некоректного використання операцій;
- відміна виконуваної операції зі збереженням команди попереднього стану;
- повернення після виконання команди до стану виконання цієї команди;
- видача користувачеві "дружніх" повідомлень про похибки;
- відновлення роботи після програмної похибки;
- доступ до контекстної гіпертекстової довідкової системи (HELP-системи);
- доступ до машинного посібника користувача.

Створення баз геопросторових даних і керування ними. Технології цієї групи зазвичай є загальнотехнічними. Специфіка функцій цієї групи проявляється в організації даних позиціонування з урахуванням координатних систем, просторових моделей і масштабів картографування територій. Найбільш важливими з них є:

- завдання внутрішньої для ГІС моделі даних, яка забезпечує опис об'єктів довільного типу;
- забезпечення багаторівневого (за масштабами) подання території з узгодженням координатних систем;
- введення даних про якість інформації, включаючи походження, точність даних, детальність і повноту (у тому числі пооб'єктного);
- введення й організацію растрових даних (фільтрація, зшивання) за аркушами або ділянками території;
- введення й організація векторних даних (зведення, звірення, зшивка – інтерактивне або автоматичне з'єднання геометрично суміжних об'єктів, розподілених або таких, що перекриваються, клішування, додавання і/або видалення точок) за аркушами або за ділянками території;
- введення та зміна атрибутивних даних (зміна ідентифікаторів, об'єднання кодів);
- забезпечення організації масивів даних за типом локалізації, темою, класами об'єктів;
- підтримка проектів баз даних (сукупності даних на певну територію для розв'язку конкретної просторової задачі);
- підтримка доступу до даних (послідовного, прямого і за ключем);
- керування зв'язками атрибутивних даних і даних позиціонування;

- забезпечення оновлення даних (додавання, видалення, модифікації);
- можливість відстеження транзакцій баз даних;
- перегляд бази даних;
- можливість відновлення баз даних після аварійних ситуацій.

Збір просторової інформації. Термін "збір" у геоінформатиці має надзвичайно широке застосування. В узагальненому вигляді цей термін можна трактувати таким чином: збирається все, що моделюється, вивчається і використовується при аналізі прогнозуванні геопростору. У цілому таке формулювання збору просторової інформації цілком можливе. Однак воно не відповідає на питання: "А чи входять технології збору всього зазначеного в ГІТ?"

Якщо ігнорувати це питання, то в ГІТ можна включити, наприклад, технології перепису населення або рідкісних і зникаючих представників тваринного світу, бо статистичні дані про них використовуються при аналізі їх територіального розподілу.

До речі, більшість галузевих і міжгалузевих технологій збору просторової інформації існували задовго до виникнення ГІС і геоінформатики, наприклад, геологічні, геофізичні, геодезичні, топографічні, фотограмметричні, ґрунтово-ботанічні, дистанційного зондування та велика кількість інших технологій дослідження геопростору. Частину своїх результатів ці технології подавали у вигляді картографічних матеріалів. При цьому ніхто не включав у картографічну технологію всю множину галузевих технологій вивчення простору.

Із виникненням геоінформатики, ці галузеві технології почали подавати частину галузевих результатів у вигляді геоінформаційних моделей (ГІМ) і використовувати їх у просторовому аналізі, оскільки на підставі ГІМ можна достатньо легко створювати картографічне зображення.

Таким чином, збір геопросторових даних, як один із функціональних блоків ГІТ, повинен забезпечувати безпосереднє отримання даних або відбір із галузевих баз даних потрібної для формування моделей і вирішення задач геоінформації. Відбір даних супроводжується конвертуванням даних. Просторове визначення галузевих даних може виконуватись як координатним методом, так і прив'язкою до контурів карти, найчастіше топографічної або географічної. Саме тому в програмних пакетах ГІС зазвичай реалізуються тільки функції одного методу збору просторових даних – картографічного [22].

Функції цієї групи утворюють 5 функціональних підгруп, що поєднують однотипні функції з різними режимами виконання:

- 1) векторизація за растром:
 - ручне цифрування точок і контурів;
 - напівавтоматичне цифрування точок і контурів;
 - автоматичне цифрування точок і контурів;

2) кодування та ідентифікація об'єктів:

- кодування об'єктів за їх характерними властивостями, введення з клавіатури;
- вибір кодів об'єктів за їх характерними властивостями, з меню текстових значень;
- завдання кодів за умовчанням і дублюванням попередніх значень;
- присвоєння об'єктам ідентифікаторів вручну;
- автоматичне присвоєння ідентифікаторів об'єктам;

3) завдання топології:

- встановлення вузлів автоматично або вручну;
- встановлення дуг (ребер) автоматично та вручну;
- завдання полігонів з дуг автоматично або вручну;
- автоматичне замикання полігонів;
- протягування кінцевих точок ліній з вузлами автоматично або вручну;
- пов'язування складних полігонів з одним або більше внутрішньо-вирізаними ареалами автоматично або вручну;
- визначення центроїда полігона автоматично або вручну;

4) завдання атрибутів:

- пов'язування атрибутів з просторовими об'єктами за ідентифікатором або центроїдом;
- введення атрибутів в інтерактивному режимі з клавіатури або з меню;
- введення атрибутів у пакетному режимі з прив'язуванням за ідентифікатором або центроїдом;

5) вияв і усунення похибок, редагування моделі:

- контроль якості растру (деформація оригіналу, розрізненість, наявність випадкових зображень) і його виправлення;
- контроль якості векторизації (перетинання або недоведення лінії при приєднанні до лінії перетинання, замиканні полігонів) і корекція геометричної моделі в інтерактивному або автоматичному режимах;
- контроль формату та коректності точок в інтерактивному або автоматичному режимах;
- контроль коректності топології та корекція геометричної моделі як в інтерактивному, так і автоматичному режимах;
- переміщення, зміна, додавання векторних об'єктів у інтерактивному режимі;
- контроль коректності, зміна та додавання ідентифікаторів у інтерактивному режимі;
- контроль правильності та повноти завдання, зміна та додавання кодів у інтерактивному режимі.

3.5. Загальні вимоги до документування в ГІС

Технічна документація на експлуатацію ПЗ ГІС є невід'ємним атрибутом будь-якої розробки і містить опис розв'язуваних системою завдань, текст і алгоритмізацію їх розв'язку, а також контрольні приклади.

Документування в ГІС повинно включати (рис. 3.10):

- документування розробки ГІС;
- документування продукції ГІС;
- документування управління проектом створення й експлуатації ГІС.

Документація розробки ГІС повинна описувати процес розробки, визначати: вимоги, яким повинна відповідати ГІС; проект ГІС; як контролюється її розробка та забезпечується якість; як здійснюється підтримка і розвиток.

Типовими документами розробки ГІС можуть бути:

- вихідне замовлення (технічне завдання) на розробку ГІС та аналіз можливості здійснення проекту;
- специфікація вимог до ГІС;
- специфікація функцій ГІС;
- проектні специфікації, включаючи специфікації програмного забезпечення й даних;
- плани розробки;
- плани створення (збору) й тестування;
- плани забезпечення якості, стандарти й графіки;
- плани підтримки, розвитку й використання.

Документація продукції ГІС повинна визначати види геоінформаційної продукції, забезпечувати інформацію, необхідну для виробництва, перетворення, оновлення, визначення якості й передачі продукції, створеної в процесі експлуатації ГІС.

Типовими документами продукції ГІС можуть бути:

- опис продукції, що включає форму, вид, територіальне охоплення, показники якості вмісту, цифрового представлення тощо;
- специфікація зовнішніх форматів подання й форматів передачі інформації.

Документація управління геоінформаційним проектом повинна створюватися на основі інформації управління проектом і включати:

- плани та графіки кожної стадії процесу створення ГІС і звіти про зміни графіків;
- звіти про узгоджені зміни первісного проекту розробки;
- звіти про рішення, пов'язані з розробкою;
- розподіл обов'язків серед розробників;
- прийняті стандарти та нормативні документи створення й експлуатації ГІС і використання геоданих у предметно-проблемних галузях, визначених замовником на розробку ГІС.

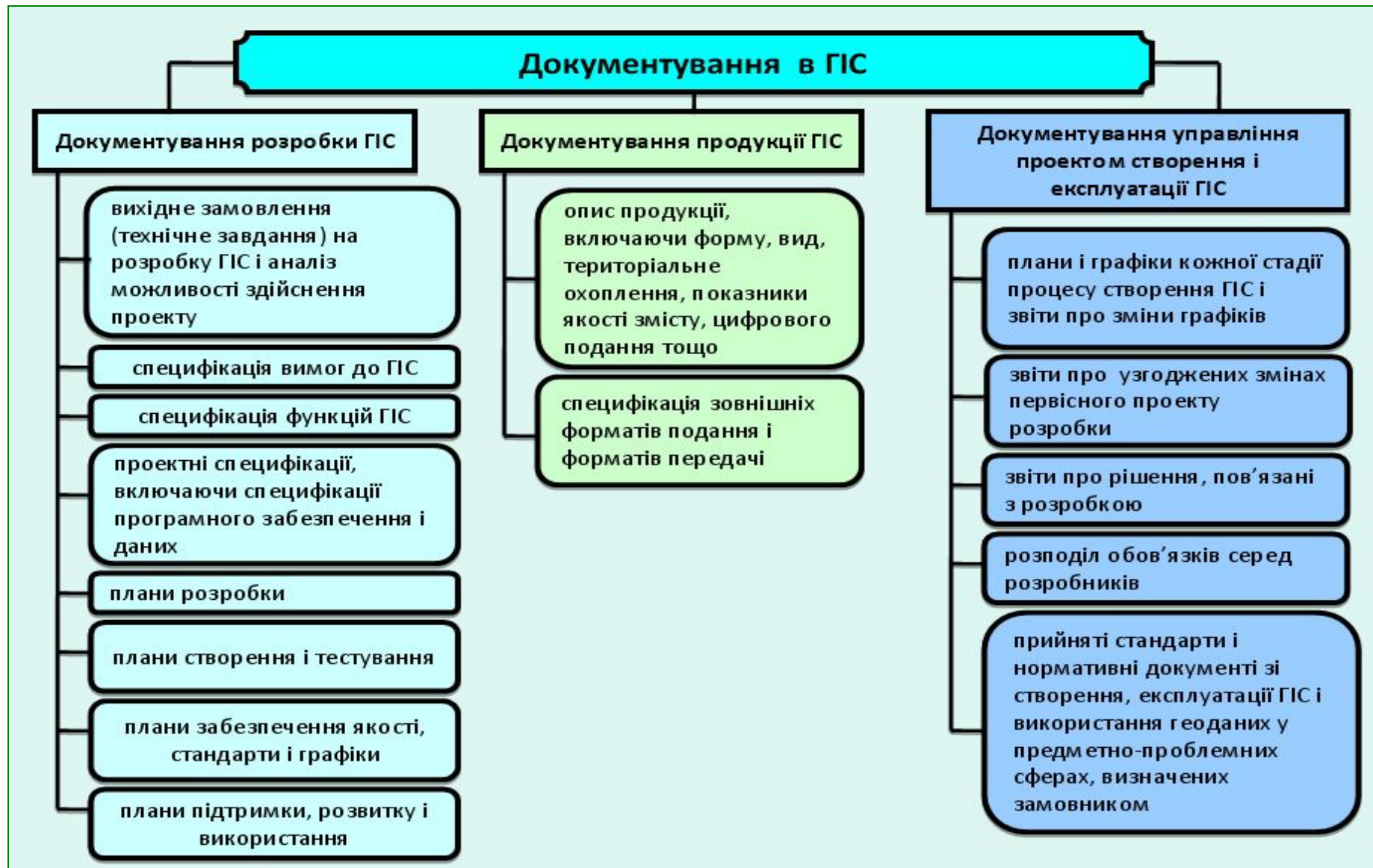


Рис. 3.10. Вимоги до документування в ГІС

3.6. Класифікація ГІС

Класифікація у будь-якій галузі знань є надзвичайно важливим і складним завданням, що пояснюється декількома причинами, найбільш істотною з яких є велика кількість конкретних варіацій систем. Це призводить до того, що іноді взагалі складається враження їх повного співпадіння з усіма типами наявних об'єктів. Інша проблема полягає в абстрактності розуміння самої системи. Крім того, до цього часу не розроблені загальні параметри, які б могли б характеризувати будь-яку інформаційну систему взагалі та ГІС зокрема.

Найважливіше призначення будь-якої класифікації – опис властивостей системи, її класів і підкласів, видів і підвидів, об'єктів, які б надавали можливість використовувати їх для ідентифікації конкретних систем, з якими зіштовхується користувач, дослідник, інженер, винахідник. Класифікація дозволяє узагальнити накопичений досвід, впорядкувати поняття предметної сфери.

Під класифікацією розуміють або розподіл певної сукупності об'єктів на класи за найбільш істотними ознаками, або операцію об'єднання, бо множина об'єктів, що підлягає класифікації, поєднується у певні групи за характерними ознаками.

Класифікаційними ознаками є ті ознаки, які, на думку того, хто виконує класифікацію, є визначальними для даного класу об'єктів. Класифікація проводиться тільки тоді, коли є множина об'єктів і серед них необхідно встановити певний порядок, об'єднати у певні групи за певними ознаками.

Ознака або їх сукупність, за якими об'єкти поєднуються в класи, є основою класифікації.

Клас – група об'єктів, які характеризуються низкою спільних властивостей.

Класифікація об'єктів – це процедура групування на якісному рівні, спрямована на виділення однорідних властивостей. Стосовно інформації, у тому числі й просторової, про об'єкт класифікації, виділені класи називають *інформаційними об'єктами*.

Властивість інформаційного об'єкта визначається інформаційними параметрами, які називаються *атрибутами* (реквізитами).

Атрибут (від лат. *attributum* – додане) – ***логічно неподільний інформаційний елемент, який описує певну властивість об'єкта, процесу, явища тощо.***

Крім виявлення загальних властивостей інформаційного об'єкта, класифікація потрібна для розробки правил (алгоритмів) і процедур обробки інформації, поданої сукупністю атрибутів (реквізитів).

При будь-якій класифікації, бажано дотримуватися таких вимог:

- забезпечення повноти охоплення об'єктів розглянутої галузі;
- забезпечення можливості включення нових об'єктів.

У будь-якій країні розроблюються та використовуються державні, галузеві та регіональні класифікатори. Наприклад, класифікуються галузі промисловості, обладнання, професії, одиниці виміру, статті витрат тощо.

Класифікатор – систематизоване зведення найменувань і кодів класифікаційних угруповань.

При класифікації широко використовуються поняття "класифікаційна ознака" та "значення класифікаційної ознаки", які дозволяють встановити схожість або відмінності об'єктів. Можливий також підхід до класифікації з об'єднанням цих двох понять в одне, яке називається ознакою класифікації (основа поділу).

Будь-яка класифікація завжди має абсолютність і відносність.

Абсолютність класифікації означає, що система віднесена до певного класу, має ті ж характеристики, що й інші системи даного класу та підпорядковується тим же закономірностям.

Відносність класифікації полягає в тому, що крім чітко визначеного поділу, існують системи, які займають проміжне місце. Відносність означає також те, що система може бути віднесена до тієї або іншої групи залежно від того, з якої точки зору розглядається система, які властивості цікавлять класифікатора в процесі аналізу, які проблеми вирішуються за допомогою даної системи. Будь-яка класифікація завжди є відносною та служить певній меті.

Аналіз існуючих класифікацій з урахуванням логічних правил розподілу всього об'єму понять, пов'язаних із системами, дозволяє сформулювати такі вимоги до побудови класифікації:

- в одній і тій же класифікації необхідно застосовувати одну і ту ж основу;
- обсяг елементів класифікованої сукупності повинен дорівнювати об'єму елементів усіх утворених класів;
- члени класифікації (утворені класи) повинні взаємно виключати один одного, тобто повинні бути непересічними;
- поділ на класи (для багаторівневих класифікацій) повинен бути безперервним, тобто при переході з одного рівня ієрархії на інший необхідно обирати для дослідження найближчий за ієрархічною структурою системи клас.

Мінімальний набір критеріїв, який дозволяє ідентифікувати кожну конкретну ГІС, утворює "систему координат", осями якої є: територіальне охоплення, пов'язаний із ним функціональний масштаб (просторова розрізненність), предметна галузь геоінформаційного моделювання та проблемна орієнтація.

ГІС можна класифікувати за різними ознаками та характеристиками, але при цьому потрібно враховувати той факт, що жорстка конкурентна боротьба між основними виробниками спеціалізованого програмного

забезпечення веде до удосконалення ГІС від версії до версії. Отже, критерії оцінки систем вкрай умовні й справедливі лише протягом певного часового інтервалу.

Сучасні ГІС можна класифікувати за ознаками:

– **за територіальним охопленням** (рис. 3.11):

- *глобальні, або планетарні ГІС* (global GIS – відповідають масштабам 1:1000 000–1:100 000 000 і менше, охоплюють території 10^5 – 10^8 км²;
- *субконтинентальні ГІС*;
- *національні (державні) ГІС* – відповідають масштабам 1:100 000–1:10 000 000, охоплюють території 10^4 – 10^7 км²;
- *регіональні ГІС* (regional GIS) – відповідають масштабам 1:100 000–1:1000 000 і охоплюють території 10^3 – 10^5 км²;
- *субрегіональні ГІС*;
- *локальні, або місцеві ГІС* (local GIS) – відповідають масштабам 1:1000–1:1000 000, охоплюють території до 10^3 км²;
- *міські* (муніципальні – urban GIS) – відповідають масштабам 1:5000 і більше, охоплюють території 10^2 – 10^3 км².

Класифікація ГІС залежно від охоплення території ґрунтується не стільки на величині площі досліджуваної території, скільки на рівні узагальненості об’єктів дослідження.



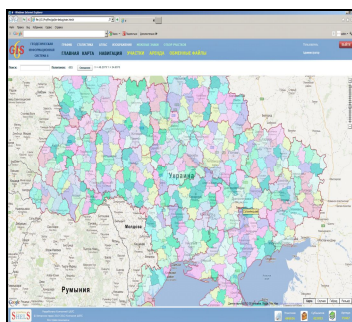
Глобальні (планетарні)



Субконтинентальні



Національні (державні)



Субрегіональні



Регіональні



Локальні (місцеві)

Рис. 3.11. Класифікація ГІС за територіальним охопленням

Топографічні карти та плани, що лежать в основі ГІС, залежно від масштабу мають різну детальність відображення території. Якщо на топографічному плані масштабу 1:500 можна побачити будь-яку лінію електропередач або лінію електрозв'язку, будь-яку трубу або криницю, кожне дерево або кущ, то на масштабі 1:200 000 навіть не всі дороги та річки підлягають відображенню, а окремі будівлі взагалі не вказуються. Власне, якщо необхідно створити муніципальну ГІС для управління окремими суб'єктами та комунікаціями, то береться детальна карта, де ці елементи відображені, а для створення національної ГІС навіть площа районного центру не має значення, тому для такої карти достатньо масштабу 1:1000000 і менше;

– **за призначенням** (рис. 3.12):

- земельно-кадастрові;
- природоохоронні ГІС (environmental GIS);
- територіальні;
- геологічні;
- інженерних комунікацій і міського господарства;
- екологічні;
- надзвичайних ситуацій;
- промислово-картографічні;
- соціально-економічні;
- транспортні;
- спеціальні (навігаційні, ГІС для бізнесу, охорони здоров'я, сільського господарства, археологічні тощо);

– **за проблемно-тематичною орієнтацією** (рис. 3.13):

- багатоцільові;
- інформаційно-довідкові;
- моніторингові й інвентаризаційні;
- дослідницькі;
- прийняття рішень;
- навчальні;
- видавницькі;
- іншого призначення;

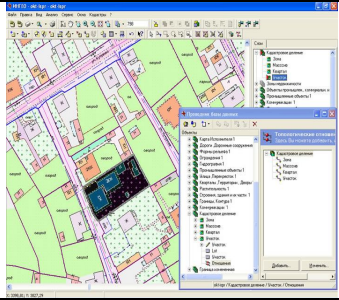
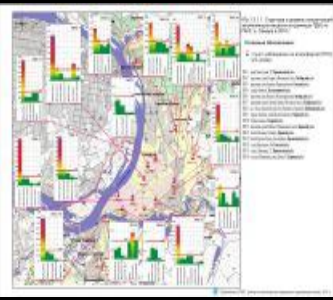
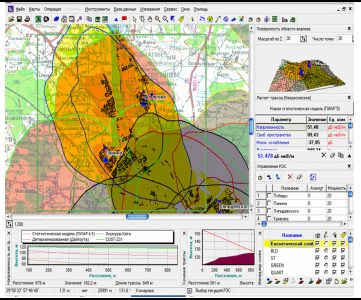
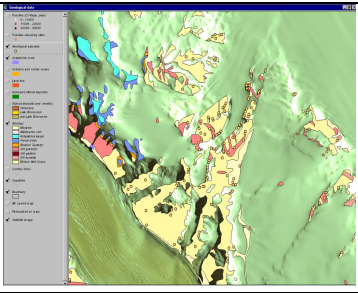
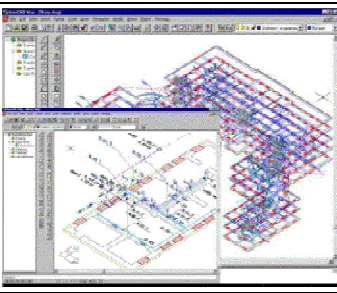
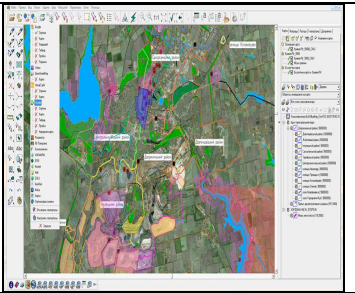

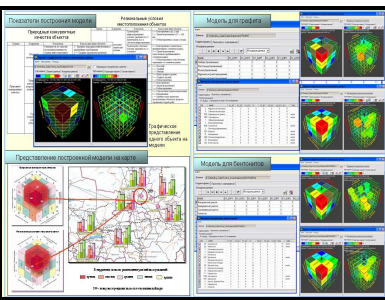
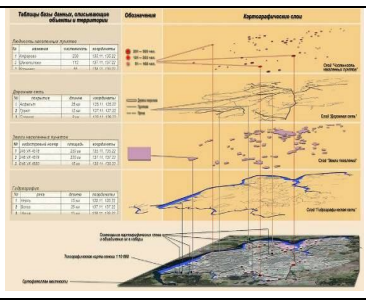
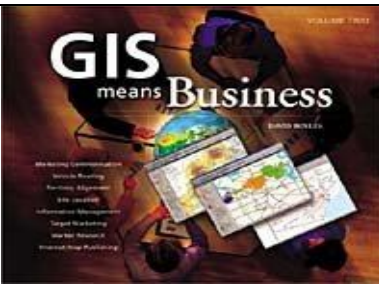
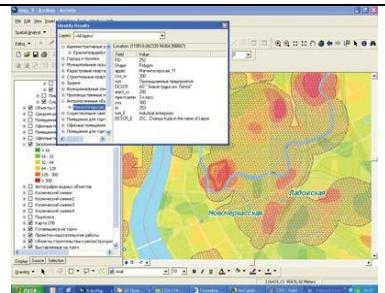
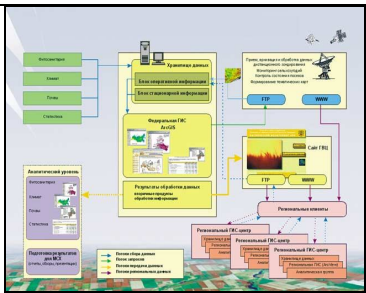
		
Земельно-кадастрові	Природоохоронні	Територіальні
		
Геологічні	Інженерних комунікацій і міського господарства	Екологічні
		
Надзвичайних ситуацій	Промислово-картографічні	Соціально-економічні
		
Спеціальні		

Рис. 3.12. Класифікація ГІС за призначенням

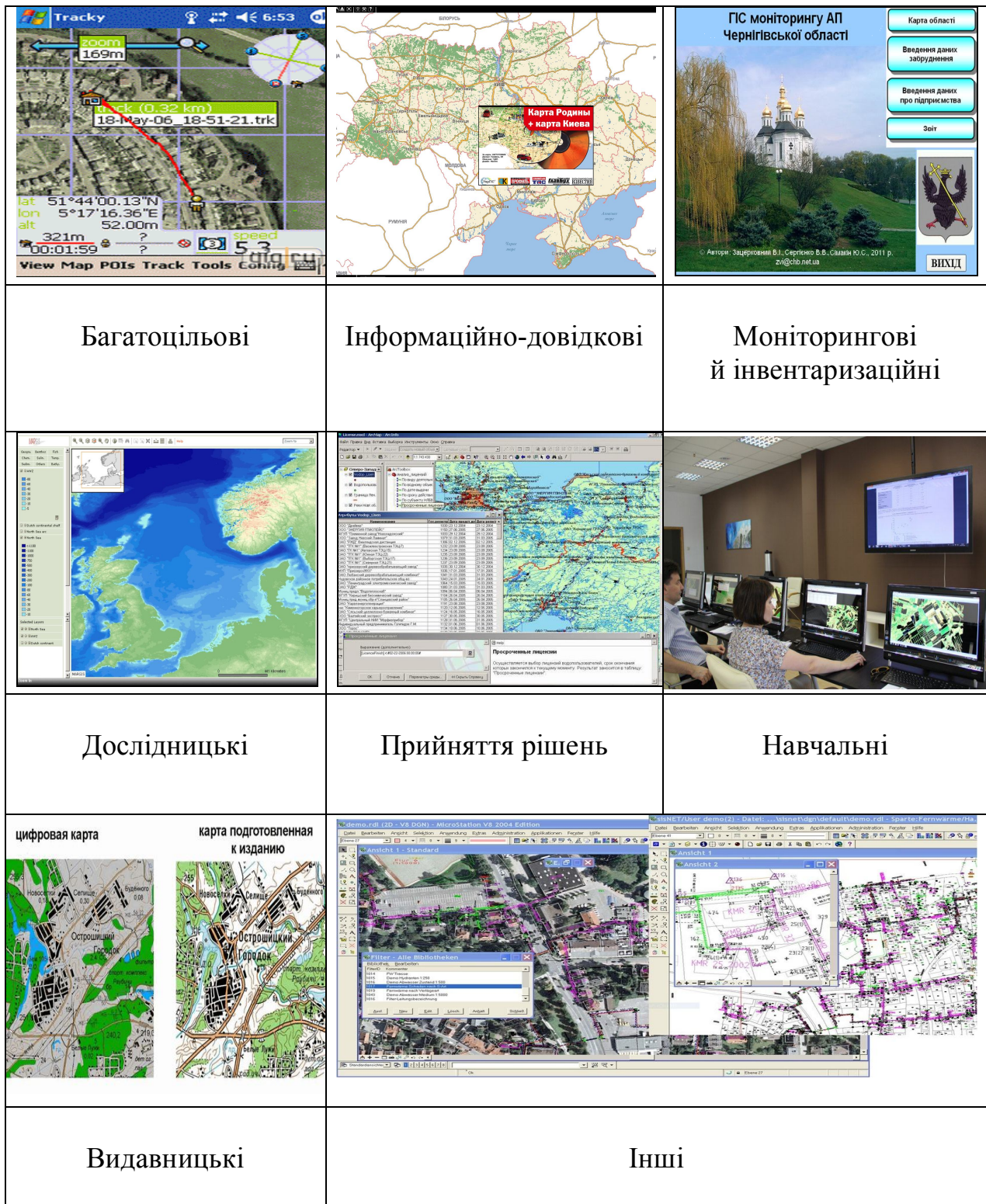


Рис. 3.13. Класифікація ГІС за тематичною орієнтацією

— за класом вирішуваних задач (рис. 3.14):

- інтегровані ГІС (ІГІС) (integrated GIS, IGIS);
- полімасштабні, або масштабно-незалежні ГІС (multiscale GIS);
- просторово-часові ГІС (spatio-temporal GIS);

Інтегровані ГІС	Полімасштабні ГІС	Просторово-часові ГІС

Рис. 3.14. Класифікація ГІС за класом вирішуваних задач

– за способом організації даних (рис. 3.15):

- векторні;
- растрові;
- гібридні;
- двовимірні, тривимірні, чотиривимірні тощо.

Векторні ГІС	Растрові ГІС	Гібридні ГІС
Тривимірні ГІС		

Рис. 3.15. Класифікація ГІС за способом організації даних

З розвитком технологій тривимірного моделювання та можливостей апаратного забезпечення все більш рельєфно проступають недоліки двовимірних ГІС:

- відсутність можливості візуалізації об'єктів проектування в тривимірному ландшафті;
- відсутність можливості просторового аналізу об'єктів з різних точок обстеження з врахуванням їх атрибутивних характеристик;
- проблеми з поданням об'єктів і переключенням від одного об'єкта до іншого при перетинанні об'єктів, розташуванні їх одним над одним тощо;
- трудомісткий процес подання в зручному вигляді декількох альтернативних варіантів планування території, складність їх корегування.

Ці та інші недоліки спричиняють реальні втрати часу та грошей у процесі розробки й узгодження проектів. Перехід до тривимірного подання об'єктів на місцевості відкриває нові можливості, дозволяє розв'язувати такі задачі:

- створення тривимірних візуалізацій ландшафтів території, містобудівного оточення й інфраструктури в масштабах сотень кілометрів;
- усебічне подання проекту, включаючи можливість підготовки декількох варіантів проекту та його фотореалістичної візуалізації в 3D (особливо це важливо у випадку, коли проект демонструється непідготовленій аудиторії);
- планування розвитку територій, ескізне пророблення різних варіантів розвитку території в режимі реального часу;
- проведення ландшафтного аналізу, оцінки висотних характеристик об'єктів і взаємодії об'єктів один з одним і навколишнім середовищем;
- аналіз об'ємних просторових даних і надання результатів аналізу в зручному для сприйняття вигляді;
- створення якісних презентаційних матеріалів і відеороликів тощо.

Таким чином, застосовуючи в найрізноманітніших сферах діяльності людини, в тому числі всі переваги класичних ГІС, але розв'язуючи більш складні та нові задачі, тривимірні ГІС (3D) стають набагато більш ефективнішими. Тому сьогодні однією з основних тенденцій світового ринку в сфері проектування є перехід від двовимірного проектування до тривимірного моделювання, а також впровадження сучасних тривимірних ГІС і їх вихід на перший план;

– *за типом використовуваного апаратного забезпечення* (рис. 3.16):

- професійні;
- настільні;
- САПР ГІС;
- інтернет ГІС;

– за принципом архітектурної побудови:

- *закриті системи* – характеризуються відсутністю можливостей розширення функцій (відсутня вбудована мова для напису додатків), однак при цьому мають наднизьку ціну продажу і в основному короткий життєвий цикл;

- *відкриті системи* зазвичай мають у своєму арсеналі від 70 % до 90 % убудованих функцій і на 10–30 % можуть бути добудовані самим користувачем за допомогою спеціалізованого апарату створення додатків, дозволяють налаштовувати систему під себе, адаптувати до нових форматів, нових типів даних, змінювати зв'язки між існуючими додатками тощо.

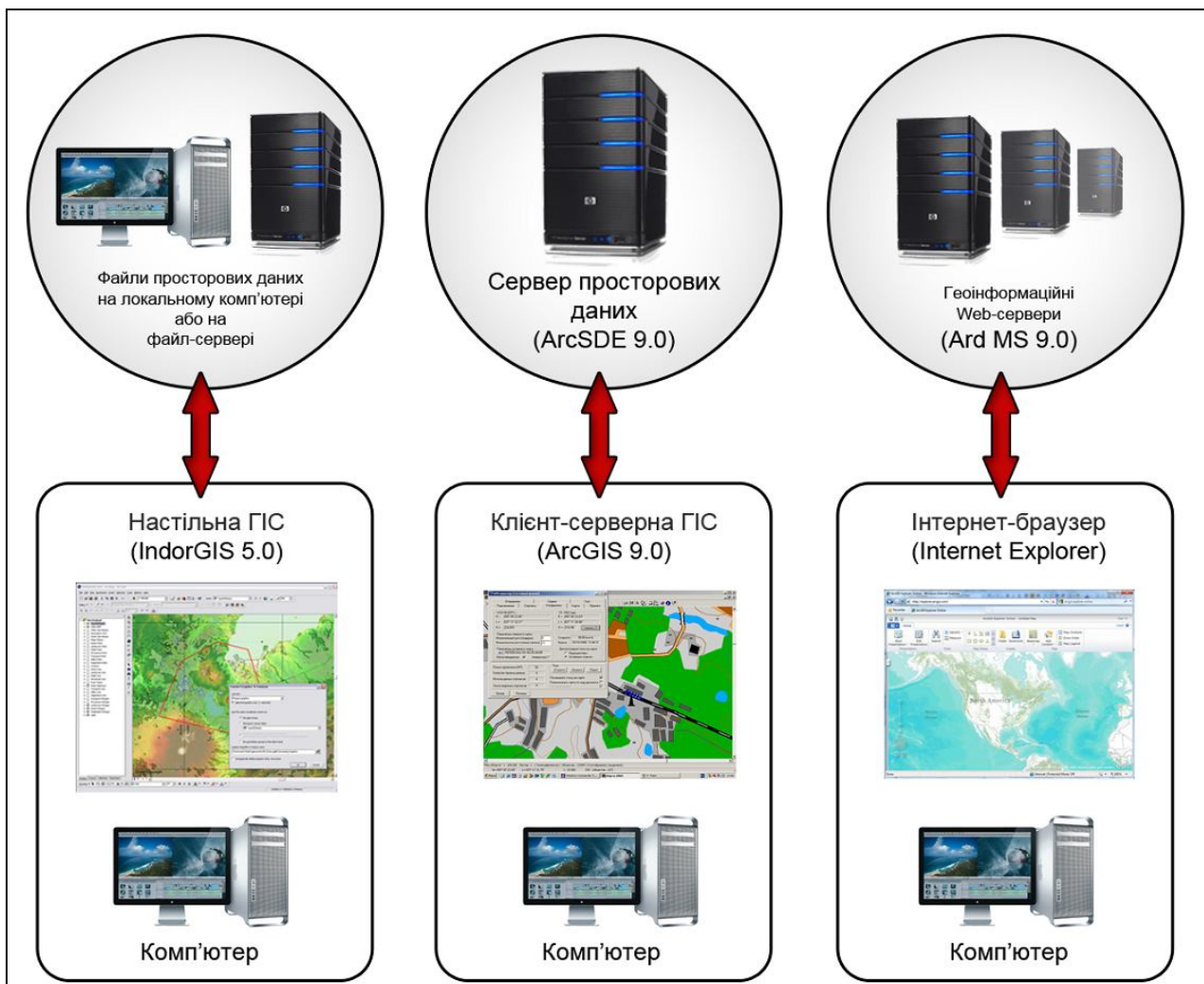


Рис. 3.16. Класифікація ГІС за типом використовуваного апаратного забезпечення

Термін "відкриті системи" означає відкритість для користувача, легкість пристосування, розширення, зміни, адаптацію до нових форматів, даних, що одержали зміни, зв'язок між існуючими додатками.

За вартістю відкриті системи дорожчі закритих, однак мають більш тривалий життєвий цикл;

– **за типом програмного забезпечення** (мови програмування, графічні стандарти, інтерфейси користувача тощо). Але така класифікація є не зовсім коректною, оскільки, виходячи з визначення, ГІС – це інтегрована інформаційна система, що складається з різних технологічних компонентів і поєднує їх у собі. Програмні засоби виступають як частина системи, до того ж вони розрізняються за функціональною повнотою і не всі забезпечують повний цикл створення та функціонування ГІС. Наприклад, потужний інструментальний пакет ARC / INFO (фірми ESRI, США) не може існувати без операційних і мережевих систем, систем міжмережевої взаємодії, сервісних програм, засобів захисту інформації тощо. Програмні засоби не можуть функціонувати без зв'язку з апаратними засобами, склад яких є дуже важливим і від яких залежить принципова можливість побудови та ефективність роботи тієї або іншої ГІС.

Підбір програмних і апаратних засобів неможливо здійснити без організаційних заходів, підбору обслуговуючого персоналу та його кваліфікації. Кожен із компонентів, що входять до складу ГІС, є важливим і не може існувати без зв'язку з іншими;

– **за способами структурування даних** (геометричні та тематичні моделі, види структур векторних, тематичних і растрових даних);

– **за методами організації даних у просторово-орієнтованих базах даних** (логічна модель бази даних, фізичний рівень);

– **за типом функцій аналізу подання (візуалізації) даних** тощо.

IV. ПОДАННЯ ОБ'ЄКТІВ РЕАЛЬНОГО СВІТУ В ГІС

Щоб зрозуміти важливість ГІС для сучасного розвитку суспільства, необхідно звернутись до їх застосування. Ми існуємо в просторі та часі і потребуємо інформацію, яка має просторовий і часовий виміри.

На сьогодні є ГІС і ГІТ ефективним інструментом для розв'язку величезної кількості завдань у різних сферах людської діяльності, де використовується просторова інформація, а геопростір є тією інтегруючою основою, на якій формується вся просторова тематична та непросторова семантична інформація, що й обумовлює ефективне використання ГІТ для вирішення безлічі прикладних задач.

4.1. Визначення поняття геопростору

Об'єктом дослідження ГІС є *простір* і *просторові об'єкти* (процеси, явища, події), що знаходяться (відбуваються) в цьому просторі. В ГІС вивчають не весь простір, а лише фізичну оболонку Землі з наявними на ній об'єктами природного та штучного походження. Таке звуження простору називають *геопростором*. Простір мікросвіту й космічний простір не включаються в це поняття¹⁵. Іншим критерієм, який обмежує включення інших просторів у поняття геопростору, є можливість застосування для їх вивчення й моделювання координатних систем: географічних і геодезичних.

Геопростір є *континуумом*¹⁶ різних географічних об'єктів. Прикладами географічних об'єктів є будівлі, люди, щільність населення, дерева, лісовий масив, ділянка забруднення, промислові зони, границя, дорожньо-транспортна пригода, зона шуму, ґрунти, мікрорайон, інженерні комунікації, дорога, річка, адміністративно-територіальна одиниця, земельна ділянка тощо.

Геопростір – це географічна оболонка Землі, яка підлягає вивченню, відображенню та моделюванню на обмеженій території, в певний період часу, в межах об'єктового складу, переліку й ступеня детальності його властивостей, зазначених споживачем геоінформації [22].

Геопростір як різновид простору характеризується [15]: *неоднорідністю, континуальністю, довжиною, дискретністю, динамічністю,*

¹⁵Проте, якщо в ГІС змінити модель еквіпотенціальної поверхні гравітаційного поля Землі на ту, що буде відповідати іншій планеті, то практично всі інші алгоритми, техніка, інструментарій, прийоми й ідеї ГІС можна буде використовувати повною мірою.

¹⁶**Континуум** (від лат. *continuus* – суцільний, безперервний) – безперервна сукупність.

структурністю, безперервністю, ентропією тощо. Проте, з позицій ГІС, найбільш значимими характеристиками геопростору виступають *довжина, динамічність, структурність, безперервність*.

Довжина геопростору характеризується територіальним охопленням: планета, півкуля, континент або океан, група держав, країна, регіон (наприклад, Полісся, Слобожанщина, Поділля, Київська область), одиниця адміністративно-територіального поділу, населений пункт, його частина тощо.

Динамічність геопростору зумовлена його мінливістю та нерозривним зв'язком із часом. Ця обставина, з одного боку, дозволяє отримати інформацію як про минулий, так і про майбутній стан простору (у вигляді проекту, прогнозу), а з іншого – потребує фіксації моменту вивчення геопростору або його складових [20].

Структурність геопростору проявляється в наявності та розташуванні об'єктів геопростору (предметів, явищ і проявів процесів), що знаходяться і відбуваються в геопросторі в конкретний момент часу. Прикладами процесів, що відбуваються в геопросторі, є: повені, епідемії, забруднення навколишнього середовища, військові операції, демографічні процеси, розподіл температур тощо.

Об'єкти геопростору можуть бути *конкретними* (наприклад, населені пункти) або *абстрактними* (щільність населення), *реальними* (річкова мережа) або *передбачуваними* (проектowana мережа зрошення) [20].

Безперервність геопростору характеризується обов'язковою наявністю в кожній його точці певного об'єкта. Не існує "пустого" геопростору.

Між просторовими об'єктами формується складна система *відношень*, які функціонують і розвиваються в часі та просторі.

4.2. Визначення поняття просторового об'єкта та його опис у ГІС

Поняття *просторового об'єкта* є одним із ключових у ГІС. Будь-який конкретний або абстрактний об'єкт реального світу, що визначається однозначним змістом і межами, може бути описаний (змодельований) в ГІС у вигляді набору *просторових об'єктів*.

Під просторовим об'єктом розуміють *образ географічної сутності* – існуючого предмета або явища, розташованого на земній поверхні, просторова локалізація якого є суттєвою з точки зору виконуваного дослідження¹⁷.

¹⁷У теорії та практиці застосування баз даних термін "об'єкт" вживається як у значенні *клас об'єктів*, так і у значенні *екземпляр класу*. В подальшому під *об'єктом* будемо розуміти саме *клас об'єктів*, а конкретні зразки об'єктів будемо називати *екземплярами*.

Просторові об'єкти завжди розглядаються в ГІС як цілісні утворення. Це означає, що для просторового об'єкта існує набір характеристик, що описують його як цілісне явище, а не окремі його частини чи точки земної поверхні, що формують цей об'єкт. Кожен з цих об'єктів займає певне просторове положення, унікальність якого слугує для індивідуалізації об'єктів, їх розрізнення один від одного.

Просторовий об'єкт іноді називають *географічним об'єктом* або *геооб'єктом*. Іноді використовуються терміни "*територіальна система*", "*просторово-розподілена система*" тощо.

Геооб'єкт – це абстракція, яка слугує відображенням певним чином розпізнаної сутності на земній поверхні, причому в даній абстракції представлено принаймні дві чітко виділені складові частини (рис. 4.1):

- *позиційна* (spatial, locational) – описує просторове розташування (spatial location) об'єкта (явища, процесу) дослідження в заздалегідь визначеній системі координат;
- *непозиційна* (aspatial) – описує непросторові якісні, семантичні характеристики геооб'єкта.

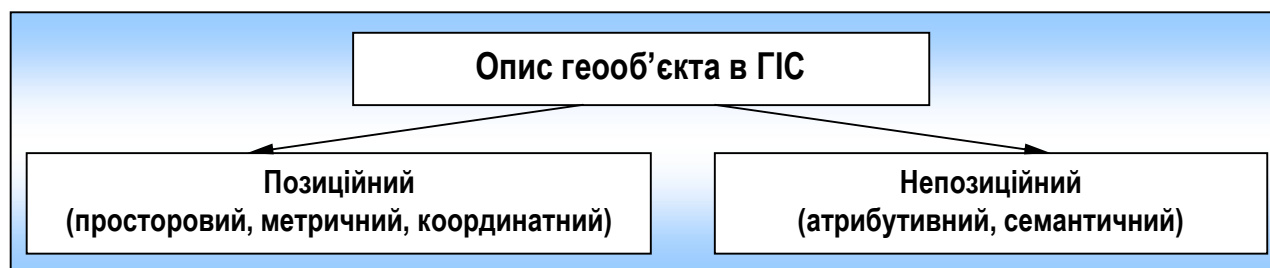


Рис. 4.1. Складові опису геооб'єкта в ГІС

З точки зору системного принципу пізнання, геооб'єкти прийнято розглядати як просторово-часові системи, що представляють собою безліч елементів, компонентів, підсистем і систем різного роду, а також відношень та зв'язків між ними.

Просторове подання використовується для передачі інформації про розташування геооб'єкта на поверхні Землі та його топологію (опис взаємного положення об'єктів та їх частин). Крім того, до просторового подання включають *ідентифікатори* (для зв'язку з непросторовими характеристиками). Вищезазначена група даних одержала назву *просторових даних*, а інформацію, що міститься в них, називають *просторовою* (метричною, координатною, позиційною). Основна вимога до таких даних – точність подання просторових об'єктів.

Ідентифікатор (identifier) – унікальний номер, який присвоюється об'єкту в процесі введення його в базу даних ГІС, або його номер у певному реєстрі або кадастрі, який слугує для пов'язування просторових і атрибутивних типів даних.

Геооб'єкт у ГІС – цифрова модель (цифрове подання) будь-якого конкретного реального об'єкта, що містить дані про його місце розташування та набір характеристик (атрибутів).

Геодані (просторові, геопросторові, географічні дані) – просторові і часові дані, що відбивають властивості об'єктів реального чи віртуального світу (навколишнього простору), процесів і явищ, що відбуваються на Землі та включають відомості про їх місце розташування і властивості.

Будь-які дані про реальні об'єкти та події навколишнього світу в тій або іншій мірі містять "просторову" складову. Навіть якщо мова йде про окремих громадян нашої держави, то існуюча в країні "реєстрація" або прописка, гарантує "прив'язку" кожного громадянина до певної адреси, яка, як відомо, пов'язана з певним житловим будинком, що у свою чергу має точне місце розташування на території населеного пункту або місцевості. Просторовий аспект мають будівлі й споруди, земельні ділянки, водні, лісові та інші природні ресурси, транспортні магістралі та інженерні комунікації, аварії, що виникають на інженерних комунікаціях, надзвичайні ситуації, військові операції тощо. Автомобіль, що стоїть або рухається по автобану, поїзд, що перевозить пасажирів з одного населеного пункту в інший, літак, що летить за певним маршрутом, пароплав, що здійснює круїз, деталь, яка рухається конвеєром на території заводського цеху, – всі вони мають свої координати на земній поверхні.

Додаткова непросторова інформація – *атрибутивне подання*, допомагає описувати просторові об'єкти, надаючи опис характеристик об'єкта (рис. 4.2). Іншим прикладом можуть слугувати атрибути будинків (рис. 4.3). Варто відзначити, що атрибути необов'язково описують видимі характеристики – у ГІС можна зберігати будь-яку інформацію, пов'язану з об'єктом, наприклад, рік побудови.

Під атрибутами розуміють змістовні, тематичні властивості геооб'єктів.

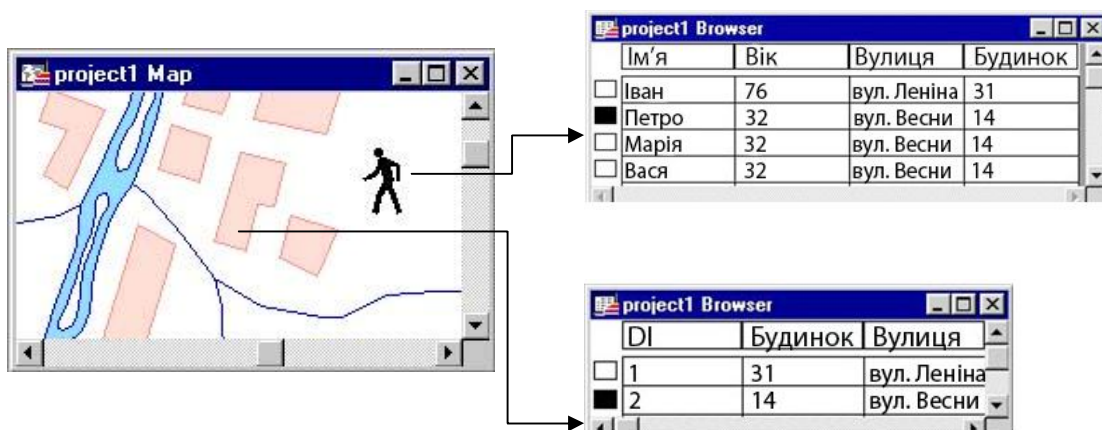


Рис. 4.2. Просторові й атрибутивні дані



Рис. 4.3. Атрибутивні дані
(колір даху, наявність або відсутність балкона)

Процес привласнення геооб'єктам атрибутів або пов'язування геооб'єктів з атрибутом називається атрибутуванням (*attribute tagging, attribute matching*).

Атрибут (*attribute*) – властивість, якісна або кількісна ознака, що характеризує просторовий об'єкт (але не пов'язана з його місцем розташування) та асоційована з його унікальним номером або ідентифікатором.

Атрибут може бути *простим* (число, символ, рядок тощо) та *складним*. Тип атрибута визначає множину його значень. Основна вимога до атрибутивних даних – повнота опису.

Атрибути просторових об'єктів зберігаються в базах даних або в убудованих (внутрішніх), або розподілених (зовнішніх). Відповідно до цього, атрибути поділяють на *внутрішні* і *зовнішні*.

Внутрішні атрибути – це інформація, яка зазвичай міститься в легенді карти, наприклад, для гіпсометричної карти – це шкала висот; для ґрунтової карти – ґрунтові різновиди, що виділені на ній; для ландшафтної карти – морфологічні або будь-які інші одиниці ландшафту тощо. До внутрішніх атрибутів відносяться:

- ідентифікатори (унікальні мітки);
- масиви однорідних даних;
- опис топології просторових об'єктів.

Усі інші атрибути, крім зазначених, відносяться до зовнішніх.

Природа просторових і атрибутивних даних є різною, відповідно різними є і методи маніпулювання (збереження, введення, редагування, пошуку й аналізу) для цих двох складових ГІС.

Одна з основних ідей, впроваджених у традиційних ГІС, – це збереження зв'язків між просторовими й атрибутивними даними при роздільному їх збереженні та частково роздільній обробці.

Однотипні об'єкти за просторовою або тематичною ознаками поєднуються в тематичні шари цифрової карти (рис. 4.4), що розглядаються як окремі інформаційні одиниці, однак у ГІС завжди є можливість поєднання всієї наявної інформації.

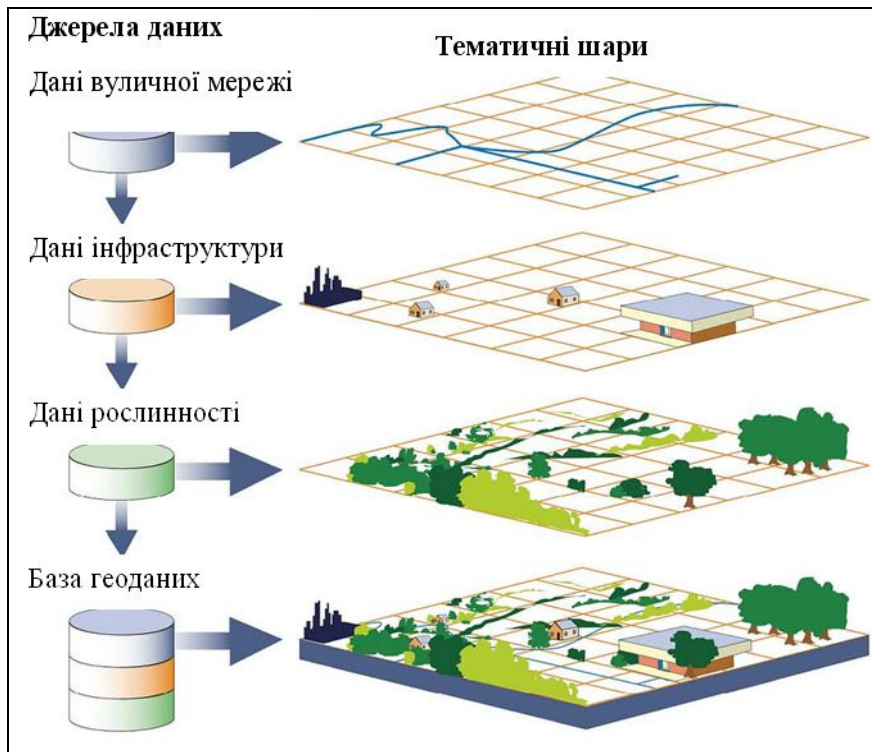


Рис. 4.4. Організація збереження даних у ГІС

Розміщення об'єктів на шарах залежить у кожному окремому випадку від особливостей конкретної ГІС, а також від особливостей вирішуваних завдань.

У більшості ГІС інформацію на окремому шарі складають дані з однієї таблиці БД. Буває, що шари утворюються з об'єктів, складених з однорідних геометричних примітивів. Це можуть бути шари з точковими, лінійними або площинними географічними об'єктами. Іноді шари створюються за певними тематичними властивостями об'єктів, наприклад, шари залізничних ліній, водойм, природних копалин тощо. ГІС дозволяє користувачу керувати шарами.

Основні керуючі функції – це видимість / невидимість шару, можливість редагування, доступність. Крім усього, користувач може збільшувати інформативність цифрової карти шляхом виведення на екран значень атрибутів просторових даних.

Тема – сукупність однорідних просторових об'єктів, наприклад, доріг, річок, ділянок або визначних пам'яток (архітектурних або природних).

Набори даних зазвичай пов'язані єдиним географічним місцем розташування, їм присвоюються реальні координати, їх можна накладати у довільній комбінації, складаючи інтерактивні карти різного змісту.

ГІС дозволяє легко відвантажувати та завантажувати різні тематичні шари у довільній комбінації, не порушуючи цілісності всієї бази даних.

Пошарова організація даних істотно збільшує ефективність роботи усієї системи і є другим основним принципом роботи ГІС.

Зв'язок просторових об'єктів з їх атрибутами (рис. 4.5) є одним з основних принципів роботи ГІС і основним чинником їх ефективності.

Цифровий опис геооб'єкта в ГІС включає:

- найменування;
- вказівку місця розташування (місцезнаходження, локалізацію);
- набір властивостей (характеристик);
- відношення з іншими об'єктами;
- просторову "поведінку".

Найменуванням об'єкта є його географічна назва (власне ім'я, якщо воно є), його умовний код і / або ідентифікатор, який присвоюється користувачем або системою. В залежності від типу об'єкта його місцезнаходження визначається координатами або набором координат, який організований в рамках певної моделі даних, вказівкою конкретної адреси або території (району).

Локалізація просторових об'єктів за допомогою координат є найбільш точною. Для цього можуть використовуватись географічні координати – широта, довгота (рис. 4.6) або будь-які інші, наприклад, декартові, полярні тощо.

Географічна широта – відстань уздовж меридіана в градусах від екватора до будь-якої точки земної кулі. За початок відліку широти беруть екватор – нульову паралель.

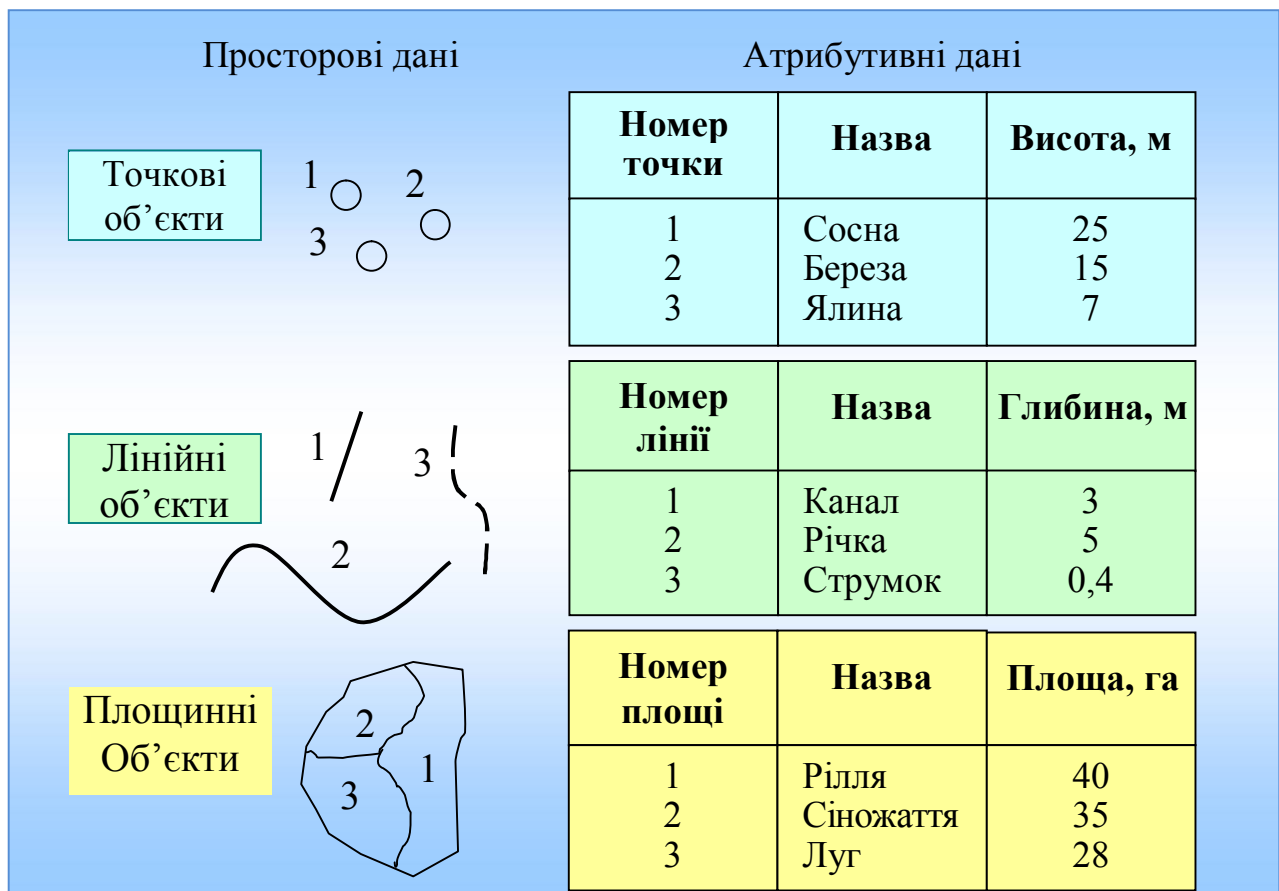


Рис. 4.5. Зв'язок об'єктів на карті з їх атрибутами

Широти визначаються по меридіану від 0° до 90° по обидва боки від екватора і відповідно називаються північними або південними. На картах паралелі надписують на бічних рамках, а на глобусі – на 0° і 180° меридіана.

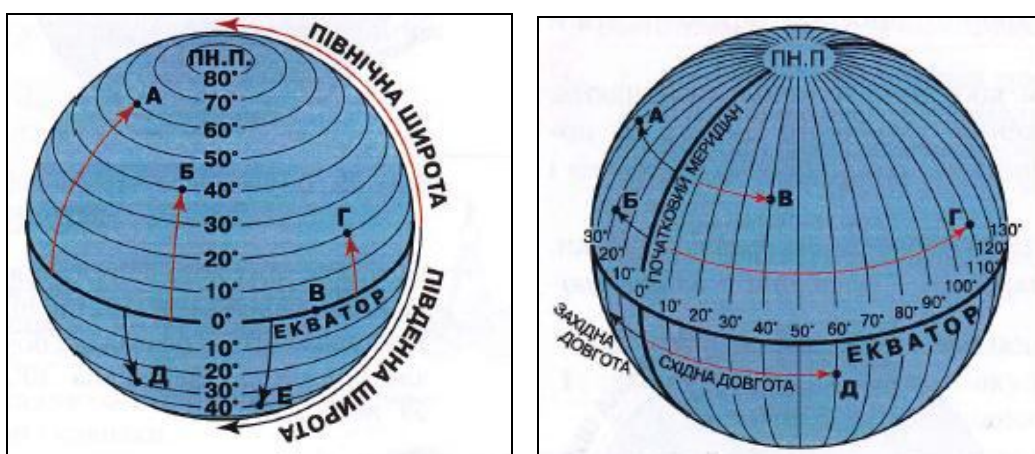


Рис. 4.6. Визначення широти та довготи

Географічна довгота – відстань уздовж паралелі в градусах від початкового меридіана до будь-якої точки земної кулі. За початок відліку довготи беруть Гринвіцький меридіан¹⁸. Довготи на схід від початкового меридіана, від 0° до 180°, називаються східними, на захід – західними; рахуються по паралелі.

Географічні координати записують у цілих градусах і хвилинах із зазначенням широти та довготи. Приклад локалізації міст за допомогою географічних координат представлений у табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Локалізація міст за допомогою географічних координат

Назва міста	Широта	Довгота	Кількість населення, чол.
Лондон	51,3° пн. ш.	0°07'39" с. д.	5 000 000
Мадрид	40° 26' пн. ш.	3° 42' с. д.	3 000 000
Київ	50,5° пн. ш.	30,5 с. д.	3 368 000

Локалізація просторових об'єктів шляхом вказівки району широко поширена в повсякденному житті. Для однозначної локалізації району,

¹⁸Гринвіцький меридіан (англ. *prime meridian*) – географічний меридіан, який проходить через Гринвіцьку обсерваторію в Великій Британії. Згідно з міжнародною нормою при відліку географічної довготи, Гринвіцький меридіан прийнято вважати початковим (нульовим): від нього відраховують довготи від 0° до 360° в напрямі із заходу на схід або в обидва боки від 0° до 180° з припискою "східна довгота" (знак плюс) чи "західна довгота" (знак мінус).

він повинен мати певні границі [86]. Хоча можуть й існувати райони з розмитими границями, наприклад, населені пункти, що склались історично або об'єкти, що не мають точної прив'язки поблизу відомих або визначених об'єктів (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

**Локалізація просторових об'єктів
(квартир, що виставленні на продаж) вказівкою районів**

Назва району	Кількість кімнат	Площа, м ²	Поверх	Кількість поверхів	Ціна, грн
Шевченківський	1	26	2	6	311 600
Голосіївський	2	40	2	5	524 800
Святошинський	3	65	24	25	631 400

Локалізація просторових об'єктів за допомогою вказівки адреси є найбільш поширеною й уживаною формою (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

**Локалізація просторових об'єктів
за допомогою вказівки адреси об'єкта**

Просторовий об'єкт	Адреса
Національний авіаційний університет	м. Київ, пр. Комарова, 1
Міська держадміністрація	м. Київ, вул. Хрещатик, 36
Обласний військкомат	м. Київ, вул. Артема, 59

Крім інформації, що безпосередньо відноситься до геооб'єктів, велике значення має також так звана *метайнформація* (метадані) або, як їх часто називають, дані про дані. Це, зокрема, може бути:

- визначення геооб'єктів (тобто принцип їх виділення);
- визначення атрибутів (наприклад, що приховується за короткими заголовками полів таблиць або іменами полів у базі даних);
- пояснення способу виміру значень атрибутів або джерела цих даних і спосіб кодування атрибутів;
- пояснення до кольорової легенди карти та умовних знаків;
- правила, за якими визначаються границі об'єктів;
- відомості про дату актуалізації інформації;
- відомості про джерела інформації, методи її отримання;
- пояснення до відсутніх значень в атрибутах, який код значень відсутній, що він означає (даний атрибут не має змісту для даного об'єкта,

дане значення не було виміряне або результат виміру був забракований, чи вимірювання дали нульовий результат), значення нижче межі виявлення;

– будь-яка інша інформація, яка сприяє правильному використанню інформації про об'єкти, які цікавлять користувача.

Для карти, наприклад, необхідним елементом метаданих є відомості про систему координат і картографічну проекцію, метод складання (польові роботи, генералізацію) та матеріали, які використовуються.

Чіткий розподіл просторових (позиційних) і непросторових (непозиційних) даних – історична традиція, що має певне технологічне коріння. Управління атрибутивною частиною даних зазвичай покладається на засоби систем керування базами даних (СКБД), що або вбудовані в програмні засоби ГІС, або є зовнішніми по відношенню до них.

4.3. Визначення поняття просторових відношень у ГІС

Для опису об'єктів реального світу потрібна інформація про їхні властивості та характеристики. Будь-який матеріальний об'єкт характеризується набором його фізичних властивостей у кожній точці займаного ним простору. Це стосується як об'єктів, що існують у вигляді "речовини", так і об'єктів у вигляді "поля" або "поверхні". Для опису будь-якого матеріального об'єкта використовується вимір його характеристик у певних точках простору або завдання безперервних профілів (трансектів¹⁹) зміни властивостей у просторі, або виділення зон (ареалів, площ, контурів ізоліній), де властивості об'єкта постійні. Ці виміри певним чином накопичуються і зберігаються в базах даних і можуть передаватися (в реальному часі) до ГІС.

Зазвичай, у зовнішніх базах даних навіть об'єкти, які характеризуються безперервною зміною характеристик у просторі, описуються набором дискретних значень з певним кроком (геологи відбирають проби або роблять шурфи через певні відстані, геофізики виконують заміри в точках мережі або за профілями тощо).

Згідно з теоремою Котельникова [26], будь-яка безперервна функція з обмеженим спектром може бути будь-як описана набором її значень, взятих через певні інтервали. Все визначає тільки вибір інтервалів.

У будь-яких випадках для характеристики об'єкта використовуються:

- просторові відношення;
- опис специфічних властивостей у даній точці або ділянці простору (на певний момент часу).

¹⁹**Трансекта** – відміряна на території екосистеми вузька прямокутна ділянка для вивчення розміщення видів, чисельності, проективного покриття, продуктивності й інших досліджень.

Просторові відношення – це фундаментальні властивості простору, за допомогою яких описують просторові взаємозв'язки об'єктів.

Просторові відношення визначають внутрішнє взаємовідношення між просторовими об'єктами (наприклад, напрямок об'єкта *A* відносно об'єкта *B*, відстань між об'єктами *A* і *B*, вкладеність об'єкта *A* в об'єкт *B*).

Просторові відношення сприймаються як безпосередньо, так і опосередковано, наприклад: об'єкт знаходиться близько, далеко, об'єкти стикаються один з одним, об'єкт знаходиться всередині іншого, поза першим об'єктом, перетинається з іншим об'єктом, прилягає до нього, знаходиться вище, нижче, ліворуч, праворуч тощо.

На картах просторові відношення подаються приховано. Просторові відношення сприймаються, оцінюються, інтерпретуються суб'єктом, який читає карту. Об'єм сприйняття інформації залежить від підготовки та кваліфікації цього суб'єкта.

4.4. Класифікація властивостей геоінформації

Властивість – категорія, що показує таку характерну ознаку об'єкта об'єкта (сутності), яка обумовлює його відмінність або спільність з іншими об'єктами і проявляє себе при порівнянні різних об'єктів.

За ступенем загальності властивості об'єктів поділяються на *універсальні, іманентні та індивідуальні*.

Універсальними називаються властивості, притаманні будь-якому об'єкту. Іншими словами, універсальні властивості – це ті властивості, наявність яких у певної сутності дає підставу розглядати його як об'єкт. Універсальними властивостями об'єктів є *дискретність* або *безперервність*, *цілісність*, *структурність*, *зв'язність*, *обмеженість*, *стабільність*.

Іманентними називаються властивості, притаманні будь-якому об'єкту фіксованого типу. Іманентні властивості виділяють з множини всіх типів об'єктів підмножину об'єктів конкретного типу і є постійними для усіх об'єктів цього типу. В природних мовах у назвах (іменах) деяких об'єктів присутня пряма вказівка на їх іманентні властивості (пасовище, брід, водоспад, дорожній покажчик тощо).

Інформація про реальний світ відноситься до індивідуалізованих об'єктів або до явища, процесу, події, безперервно розподіленій у просторі, до просторового поля. При цьому, об'єкти можуть мати:

– *чіткі, визначені межі місця розташування*, які достатньо добре описуються, наприклад, лінією їх контуру (для площинних об'єктів);

– "розмиті" нечіткі границі (із зоною поступового переходу на границі, з границею, визначеною статистично, або змінну в часі);

– різну розмірність у геометричному змісті (бути точковими – нульова довжина й ширина, розмірність 0; лінійними – ненульова довжина при нульовій ширині, розмірність 1; площинними – ненульові довжина й ширина, розмірність 2).

Об'єкти можуть відноситися до різних категорій й утворювати цілі ієрархії, наприклад, лінійні об'єкти можуть бути річками (елемент гідрографії), залізницями, автомобільними дорогами, центральними лініями вулиць (елементи транспортної мережі), лініями газопроводів, лініями нафтопроводів (елементи трубопровідної мережі). Автомобільні дороги можуть бути далі поділені на множину різноманітних класів за різними ознаками та поєднанням ознак.

4.5. Класифікація компонентів геопростору

Згідно з типізацією Ендрі Мітчелла [34], просторові об'єкти це:

- дискретні явища;
- безперервні явища;
- узагальнені за площею явища;
- поверхні в просторі.

Дискретні явища завжди займають точно визначену частину простору (в будь-якій точці простору даний об'єкт може або бути, або ні). Вони можуть бути точковими, лінійними або полігональними.

Безперервні явища характеризують територію в цілому, а не окремі об'єкти (явища, процеси) й можуть виявлятися або вимірюватися у будь-якому місці. Наприклад, опади, температура можуть вимірюватися в будь-якому місці території й узагальнено її характеризувати. Вони безперервно змінюються в просторі не маючи проміжків. Безперервність явищ проявляється в тому, що неможливо вказати проміжки на площі поширення явищ, у яких би вони були відсутні. Безперервні об'єкти заповнюють усю модельовану поверхню, пронизуючи одна одну, їх можна трактувати як властивості простору або модельованої поверхні. Незважаючи на те, що дані змінюються безперервно, границями вказують дискретну зміну величини у певних межах (наприклад, типи ґрунтів).

Узагальнені за площею явища характеризують узагальнену характеристику або концентрацію об'єктів у межах даної площі. Узагальнені показники характерні для адміністративних районів, поштових відділень, ділянок функціонування силових структур. Як приклад можна назвати кількість будинків у мікрорайоні, щільність вулично-дорожньої мережі, щільність населення житлових кварталів, статистичні показники тощо.

Поверхні у просторі є площинними об'єктами зі значеннями висоти (Z).

За структурою географічні об'єкти поділяються на *елементарні* (прості), *складові* та *складні*.

Елементарний об'єкт не має складових частин, наприклад, окрема будівля.

Складовий об'єкт утворюється групою об'єктів з певним порядком їх проходження при утворенні певного об'єкта, наприклад, учбовий корпус, що складається з окремих будівель.

Складний об'єкт утворюється групою об'єктів (елементарних, складових, складних), порядок проходження яких при утворенні досліджуваного об'єкта не фіксується, наприклад, ансамбль будівель.

За формою існування географічні об'єкти поділяють на *матеріальні* (реальні) й *абстрактні* (віртуальні).

У загальному випадку при геосистемному моделюванні доцільно вести мову не про об'єкти земної поверхні, а про об'єкти моделювання, оскільки такими можуть бути як емпіричні (реально існуючі) матеріальні утворення, явища й події в предметній галузі, так і віртуальні.

Емпіричні об'єкти можуть сприйматися або безпосередньо, за допомогою органів чуттів, або опосередковано, із застосуванням приладів (визначення границь ділянки радіоактивного забруднення місцевості, знімання підземних комунікацій за допомогою трасошукачів тощо). Безпосередньо об'єкти, що сприймаються, іноді називають *спостережуваними*, а сприйнятті опосередковано – *неспостережуваними*.

Віртуальні об'єкти можуть не існувати в реальності, але при цьому відображатись. До них відносяться об'єкти, що існували в минулому, існування яких передбачається в майбутньому та уявні.

Уявними об'єктами є кордони, червоні лінії²⁰, горизонталі тощо.

Якщо границя закріплена на місцевості певними знаками, то кордоном вважають уявну пряму, що з'єднує центри цих знаків. Якщо границя проходить за фарватером річки, то ситуація більш невизначена – положення самого фарватеру важко піддається точному визначенню й змінюється в часі.

²⁰**Червоні лінії** – визначені в містобудівній документації відносно пунктів геодезичної мережі межі існуючих і запроектованих вулиць, доріг, майданів, які відмежовують території мікрорайонів, кварталів та території іншого призначення.

Червона лінія позначає землі загального користування, які призначені для прокладки інженерних і транспортних комунікацій, пішохідних зв'язків, впорядкування, озеленення й освітлення вулиць тощо.

Червоні лінії можуть бути визначені на підставі генеральних планів міст. В умовах старої забудови збільшення розмірів вулиць у червоних лініях можливе тільки, коли здійснюється реконструкція забудови.

4.5.1. Дискретні явища

Дискретні явища (об'єкти, події) завжди займають точно визначену частину геопростору, тобто в будь-якій точці простору даний об'єкт може бути або наявним, або відсутнім. Другою характерною особливістю об'єктів даного типу є наявність досліджуваної ознаки тільки в межах об'єкта. Третьою характерною особливістю є незмінність значення певної ознаки в точці протягом лінійного відрізка або в межах площі.

Дискретні об'єкти відображаються на картах за допомогою певних умовних знаків – графічних примітивів, а саме *точками*, *лініями* та *полігонами* (замкненими областями). Такими примітивами можна описати практично будь-яку цифрову карту. Для цього треба розкласти об'єкти, зображені на карті на окремі тематичні шари: точки – на один; лінії – на інший; полігони – на третій тощо. Рознесення об'єктів на тематичні шари дозволяє відображати їх на екрані окремо або разом, розфарбовувати об'єкти в різні кольори або присвоювати їм властивості відображення, наприклад, квадратики для криниць і кружечки для джерел.

Кожний користувач може розподіляти подібні об'єкти так, як йому це зручно, але це може призвести до безладу. Для можливості подальшого використання цифрових карт іншими користувачами потрібно зробити так, щоб позначення в усіх цифрових картах було однаковим або майже однаковим. Для цього існують правила рознесення об'єктів на тематичні шари та правила опису цих об'єктів у таблицях. Ці правила знаходяться в нормативних документах, які називаються *класифікаторами*.

Класифікатор (від лат. *classis* – розряд і *facere* – робити) – ***систематизований перелік найменованих об'єктів, кожному з яких наданий унікальний код.***

Проте, як свідчить практика, класифікатори можуть бути, а можуть і не бути. А ще, що цілком імовірно, якщо вони навіть і існують, то там не враховано все те, що знаходиться на ваших мапах.

Опис об'єктів здійснюється шляхом указівки координат об'єктів і їх складових частин. Для дискретних точкових, лінійних і площинних об'єктів завжди може бути визначено їх фактичне розташування на місцевості.

Типовими прикладами дискретних об'єктів (явищ, подій) можуть слугувати опора геодезичної мережі, криниці, стовпи, точки закладення свердловин, точки відбору проб ґрунту тощо (рис. 4.8, точкові об'єкти), кордони країн, лінії дорожньої або річкової мережі, стежки тощо (рис. 4.10, лінійні об'єкти), території промислової забудови, водоймища, будівлі, адміністративні райони тощо, тобто будь-які об'єкти, у межах яких зміною просторової ознаки можна знехтувати (рис. 4.7, полігональні об'єкти).

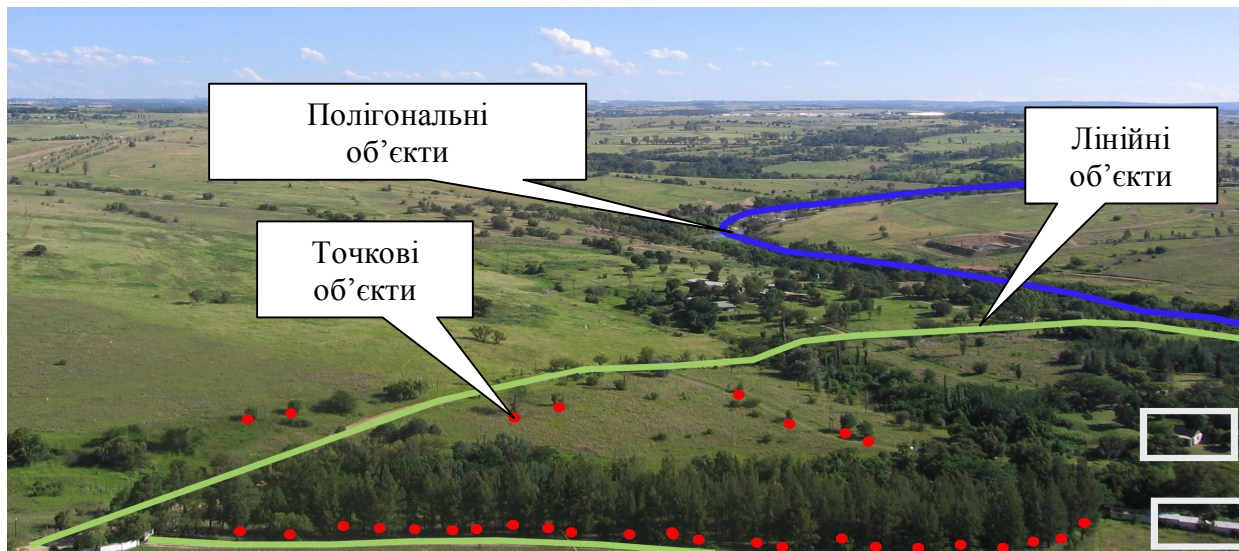


Рис. 4.7. Об'єкти ГІС

Точкові об'єкти – це такі об'єкти, кожний із яких розташовується тільки в одній точці простору, що характеризується парою координат (x, y) .

Насправді всі точкові об'єкти мають певну просторову довжину, інакше ми просто не змогли б їх розгледіти. Однак для забезпечення можливості моделювання вважають, що у таких об'єктів немає просторової довжини або ширини, але кожний із них може бути позначений координатами свого місця розташування, тобто їх можна абстрагувати до точки.

Про такі об'єкти кажуть, що вони *дискретні*. Це означає, що кожний із них може займати в будь-який момент часу тільки певну точку простору.

Точковими об'єктами, зображеними на карті (рис. 4.8), можуть бути дерева, будинки, свердловини, перехрестя доріг, населенні пункти тощо. Точками на карті також позначають об'єкти, які взагалі не мають площі (наприклад, висотна позначка), або точка, розмір якої залежить від певної атрибутивної інформації (наприклад, від кількості працюючих на підприємстві).

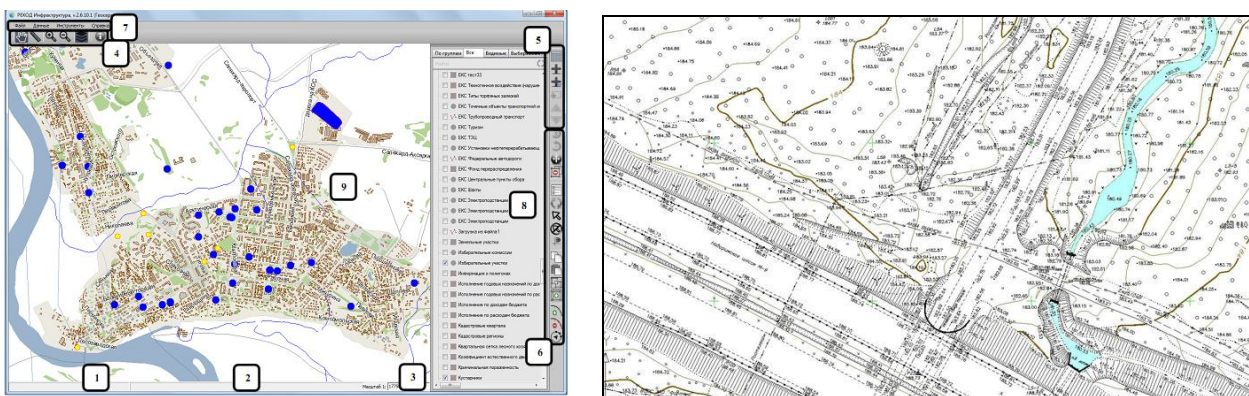


Рис. 4.8. Точкові об'єкти

Приймаючи відсутність довжини та ширини, наприклад, при змінах атмосферного тиску, який характеризується потенційною множиною точок, вважають, що самі точки завжди займають певне місце без будь-яких перекривань.

Масштаб, при якому спостерігаються ці об'єкти, задає межі, що визначають подання цих об'єктів як точкових. Наприклад, якщо дивитись на будинок з декількох метрів, то споруда буде виглядати монументальною, з певними значеннями довжини та ширини. Але це уявлення буде змінюватися, якщо віддалятися від будинку, – чим далі віддалимося, тим меншою буде виглядати споруда як площинний об'єкт і більше буде нагадувати точковий.

Точками також зображуються ті елементи карти, які невидимі при даному масштабі. Наприклад, точки спостереження або населені пункти на мапах дрібних масштабів. Кожній точці залежно від її типу або значення атрибуту може бути присвоєний певний символ.

Таким чином, вибір об'єктів, поданих у вигляді точок, залежить від масштабу карти чи дослідження, точкові об'єкти при відображенні в ГІС розрізняються розмірами, кольорами, розмірами та кольорами (рис. 4.9).

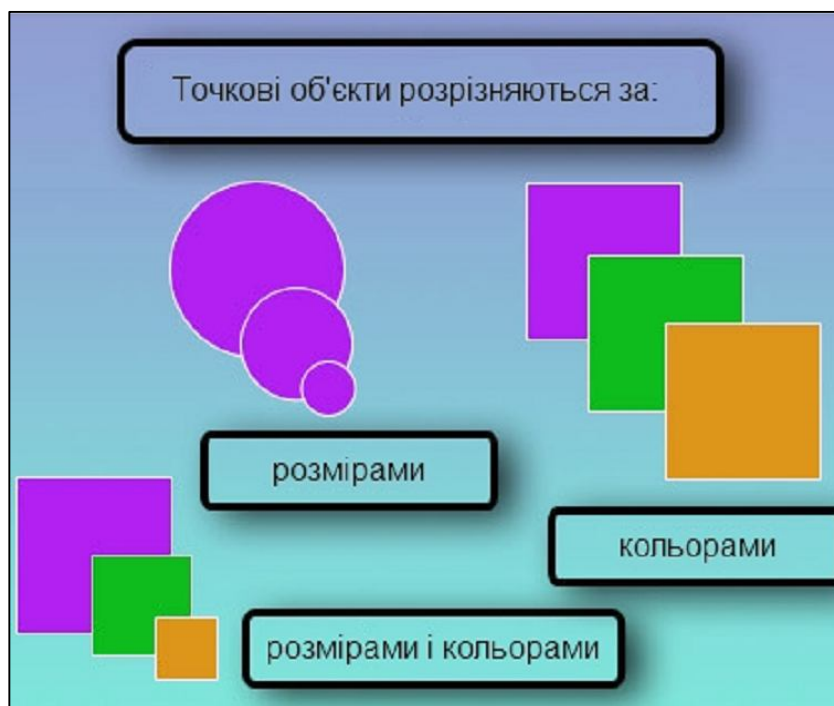


Рис. 4.9. Типи точкових об'єктів на карті

Лінійні об'єкти – це об'єкти карти, метричні описи яких є упорядкованим набором координат, які будучи з'єднаними, показують подовжену форму об'єкта, занадто вузьку, щоб можна було зобразити його площину.

Такими "одновимірними" об'єктами можуть бути авто- та залізні дороги, річки, кордони, огорожі, лінії електропередач, газо- і нафтопроводи або будь-які інші об'єкти, у яких довжина серед геометричних параметрів істотно більша за інші. Лінійні об'єкти часто називають *мережами*.

Об'єкти лінійної мережі складаються з вузлів – місць, де лінія закінчується, переривається, та дуг, що з'єднують вузли.

Масштаб, при якому спостерігається цей об'єкт, знову ж таки, обумовлює поріг, при перетинанні якого можна вважати ці об'єкти такими, що не мають ширини (рис. 4.10).

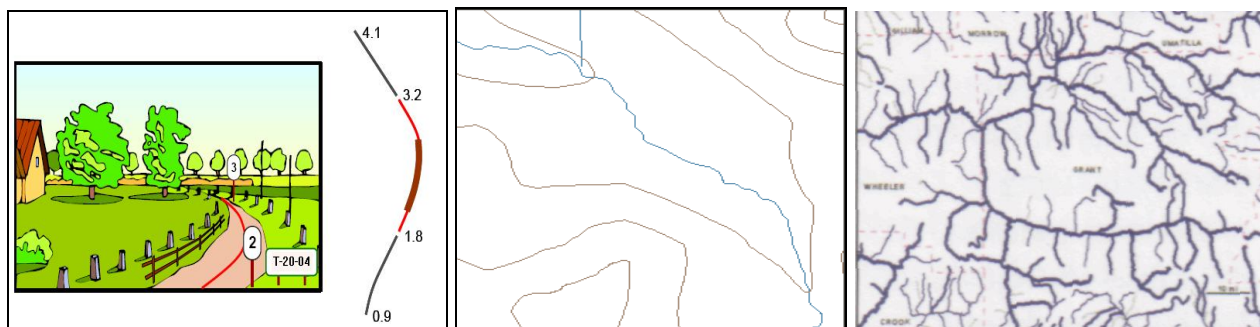


Рис. 4.10. Лінійні об'єкти

Однак, як відомо, річки, дороги, огорожі мають два виміри при розгляді з близької відстані. Але чим далі ми віддаляємось від них, тим більш тоншими вони стають. Поступово при значному віддаленні вони стають такими тонкими, що їх можна представити як лінійні об'єкти. Деякі лінії на карті, наприклад, адміністративні та політичні кордони, взагалі не мають ширини, іншим прикладом можуть слугувати ізолінії (ізогіпси), які використовуються для зображення рельєфу.

Для лінійних об'єктів, на відміну від точкових, можна встановлювати просторовий розмір визначенням їх довжини. Крім того, необхідно знати хоча б дві точки – початкову та кінцеву – для опису місця розташування лінійного об'єкта в просторі. Лінія може бути прямою, що складається з двох точок, – власне об'єкт лінія (line) й полілінією (polyline), яка складається з множини вузлів, що з'єднуються відрізками. Чим складніша лінія, тим більше точок буде потрібно для визначення точного її розташування. Базуючись на обчислювальній геометрії, можна також визначати форми й орієнтацію лінійних об'єктів. При цьому, лінійні об'єкти сприймаються не тільки як сукупність прямолінійних відрізків, а як об'єкти, що мають у своєму складі сегменти ліній другого та вищого порядків.

Вибір об'єктів, поданих у вигляді ліній, залежить від масштабу карти або дослідження, тому лінійні об'єкти розрізняються за шириною, структурою, кольором, комбінацією ліній (рис. 4.11).

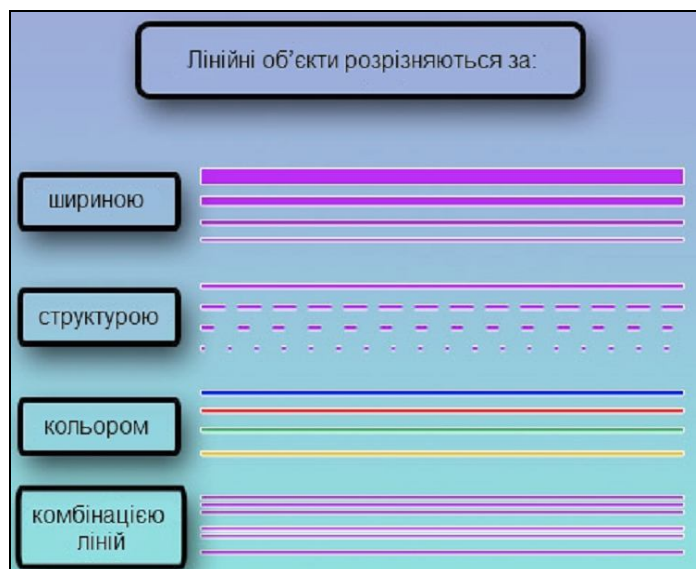


Рис. 4.11. Типи лінійних об'єктів на карті

Під сегментом (*line segment, segment, chord*) у ГІС розуміють відрізок прямої лінії, що з'єднує дві точки з відомими координатами; проміжні точки (*vertex, pl. vertices*), вузли; елемент дуги при векторному поданні просторових об'єктів.

Полігони – площинні об'єкти, які представлені або набором пар координат (x, y), або набором об'єктів типу "лінія", що утворюють замкнутий контур.

Якщо вважати, що всі об'єкти ГІС мають семантичний контекст, який визначає їх як об'єкти реального світу, то замкнені лінійні об'єкти можна поділити на контурні та площинні.

Границя (*border, boundary, edge*) – лінія, яка розділяє різнойменні полігони.

Крім зазначення місця розташування полігонів через використання ліній, необхідно також врахувати такі характеристики: форму, орієнтацію та величину площі, яку займає полігон. Площинні об'єкти (рис. 4.12) відображують елементи геопростору, площа яких у даному масштабі є найбільш значимою характеристикою.

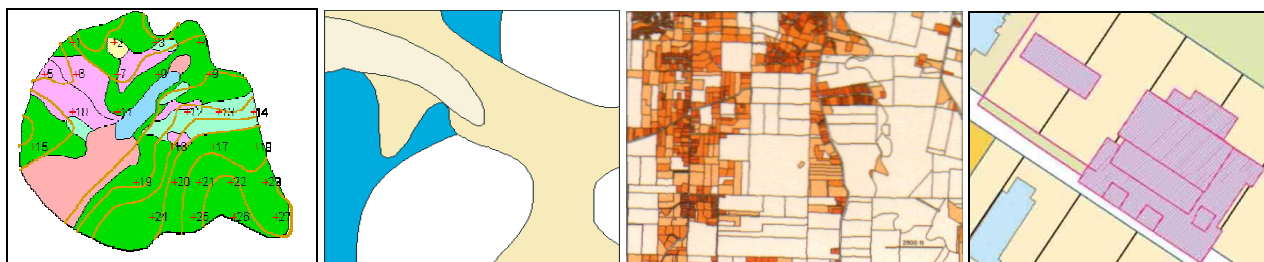


Рис. 4.12. Площинні об'єкти (полігони)

Прикладом полігонів або двовимірних об'єктів можуть слугувати території, що зайняті подвір'ями, населеним пунктом або континентом.

При визначенні місця розташування полігонів у просторі, їх границя є лінією, яка починається і закінчується в одній і тій же точці, наприклад, лісові масиви, озера, сільськогосподарські угіддя, населенні пункти тощо.

Колір, характер штрихування, позначення ліній контуру при відображенні визначаються типом полігона (типом рослинності) або величиною атрибута – кількістю населення (рис. 4.13).



Рис. 4.13. Приклад використання кольорів і штрихувань для показу кількісних відмінностей між полігонами

Площинний об'єкт (полігон) – це двовимірний (площинний) об'єкт, замкнута лінійна фігура, яка обмежує однорідну (квазіоднорідну) територію, наприклад, водоймище, район, будівлю.

При цьому можливі ситуації:

1) полігони є ізольованими областями. Іноді вони можуть перекриватись. Досліджувана точка може знаходитися усередині багатьох об'єктів. Досліджувані об'єкти при цьому можуть не повністю покривати досліджувану область, наприклад, лісові пожежі тощо;

2) будь-яка точка, що досліджується, знаходиться усередині одного об'єкта. Об'єкти повністю покривають досліджувану область. Кожна лінія границі розділяє два площинних об'єкта. Площинні об'єкти не перетинаються;

3) будь-який тематичний шар може бути перетворений у шар іншого типу, а це означає, що кожний площинний об'єкт може мати будь-яку кількість атрибутів. Площинні об'єкти можуть мати "дірки", які мають набір атрибутів, відмінний від атрибутів основного об'єкта. Прикладом таких дірок можуть слугувати острови на річках, озерах, морях.

4.5.2. Геометричні об'єкти високого рівня

Точкові лінійні та просторові об'єкти, розглянуті вище, відносяться до класу простих об'єктів. Існує також клас об'єктів, що мають специфічне навантаження й особливе значення для аналізу (вузли, центроїди та мережі). Деякі автори [15] відносять до них і сукупності точкових об'єктів.

Ці об'єкти утворюються різноманітними засобами: вузли, наприклад, кодуються в процесі цифрування, центроїди та мережі обчислюються на основі геометрії наявних об'єктів. Такі об'єкти називаються об'єктами високого рівня і також поділяються на точкові, лінійні та полігональні.

Точкові об'єкти "високого рівня". Два основних типи об'єктів високого рівня – це центроїди та вузли. До них можна також віднести і сукупність точкових об'єктів.

Центроїд – уявна точка, центр ваги (геометричний центр) фігури або внутрішня точка полігона, отримана осередненням координат усіх точок, що утворюють полігон.

Центроїд, зазвичай, визначається як точка, що міститься в географічному центрі області або полігона і слугує для його ідентифікації, тобто знаходиться в середині полігона. Він виконує функцію точкового об'єкта, до якого в разі потреби можна віднести властивості полігона.

У випадку невипуклого полігона або складеного полігона, який має внутрішні полігони (острови, або анклав), його положення не збігається з центром ваги полігона.

ГІС у своєму арсеналі мають різні алгоритми автоматичного вибору центроїда. Однак, після автоматичного вибору, центроїд може вручну переноситись в іншу внутрішню точку.

При автоматичному створенні топології центроїди можуть також бути призначені з числа (з шару) точкових об'єктів (наприклад, обласний центр може бути призначений як центроїд області на карті України). Центроїди можуть також розміщуватися в центрі розподілу певної характеристики (значення), а не в абсолютному геометричному центрі багатокутника. Існують й інші засоби побудови центроїдів. Наприклад, центроїдом може бути центр ваги геометричної фігури, центр прямокутника, описаного навколо полігона, центр еліпса, найближчого за формою до полігона, тощо. Це визначення може також використовуватися для складних ліній.

Визначення центроїда багато в чому залежить від моделі даних, яка використовується. Так, наприклад, растрові моделі недостатньо пристосовані для визначення центроїда полігона. У багатьох випадках навіть і векторні моделі не мають відповідної функції для його створення.

Прості, або географічні, центроїди у векторній моделі обчислюються за правилом чотирикутника, який поділяє багатокутник на декілька чотирикутників, що накладаються один на одний. Центри кожного чотирикутника обчислюються як місце перетину діагоналей, а потім обчислюється їх зважене середнє (рис. 4.14).

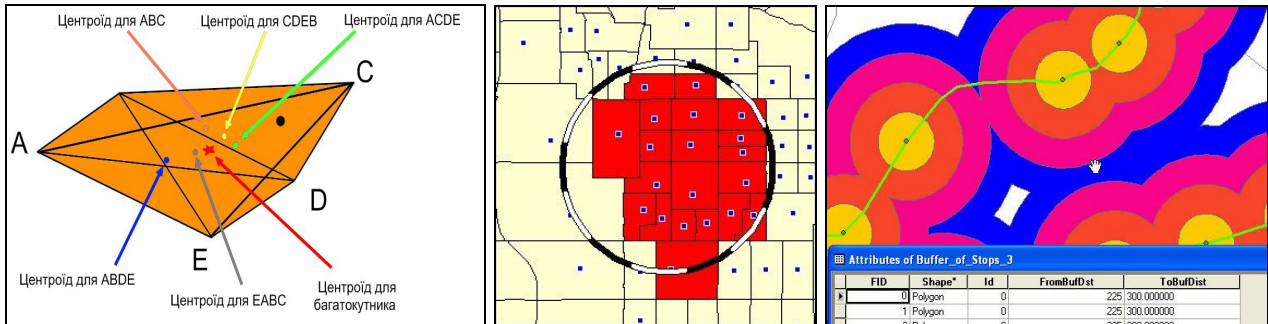


Рис. 4.14. Визначення центроїда полігона

Вузли. Вузли – це атрибут топологічної структури тільки векторних систем. Таке поняття не існує взагалі у растрових ГІС. За вузлами здійснюється розрахунок довжин відрізків річкової та дорожньої мережі тощо.

Вузли є тим найважливішим елементом, який безпосередньо відображає взаємозв'язки об'єктів. У цьому випадку точки, зображені на електронній карті, містять інформацію не тільки про місце розташування, але й про топологічну структуру лінійного або полігонального покриття. Саме вони можуть дати відповідь на те, чи перетинаються два транспортних маршрути, чи ні. Вузли кодуються в процесі цифрування і повинні легко відокремлюватися або ідентифікуватися звичайними процедурами пошуку ГІС, які підтримують топологічну структуру даних.

Складність виникає тільки тоді, коли вузол помилково закодовано як звичайну формоутворюючу точку. Це ще одна ілюстрація важливості ретельної організації даних [15].

Сукупність точкових об'єктів. Сукупність точкових об'єктів як елементів аналізу часто набуває самостійного значення. Велика щільність точок, яку б подію вони не відображали, завжди відрізняє утворювану ними область від навколишніх, що містять меншу кількість точок. Наприклад, на деяких площах сільськогосподарських угідь може бути виявлена значно більша кількість бур'янів або чагарників, що робить їх відмінними від інших. Залишається тільки визначити причину відмінностей: порушення рівноваги, дефіцит пестицидів або властивості місцевого ґрунту або особливостей його обробки тощо.

Інші характеристики розподілу точкових об'єктів, такі, як рівномірність або випадковість, також можуть використовуватися для визначення

площ як специфічних співтовариств або площ, що мають загальні закономірності розподілів (рис. 4.15).

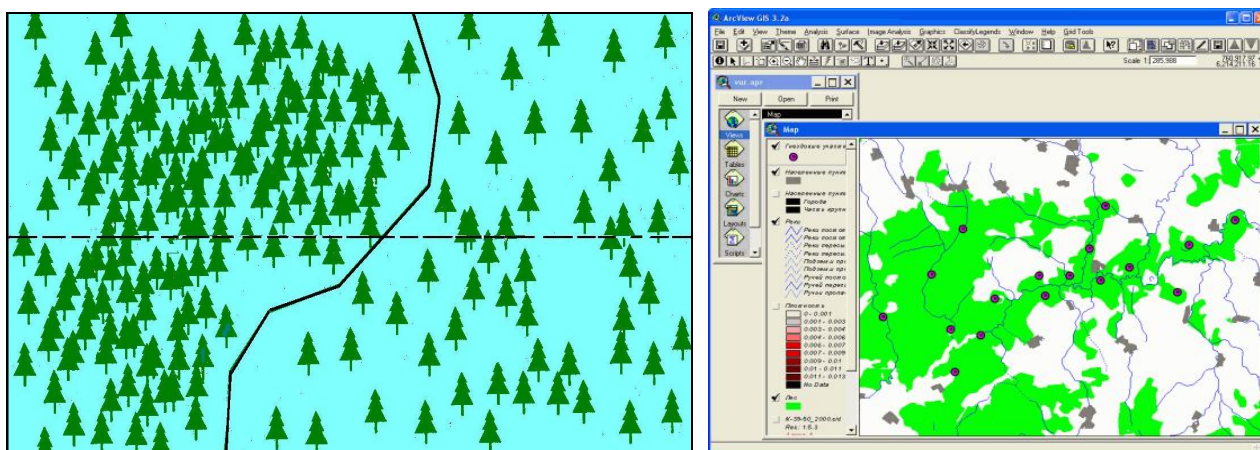


Рис. 4.15. Сукупність, утворена на основі щільності точкових об'єктів

Такий засіб визначення площ не вкладено безпосередньо в інструментарій більшості ГІС, але шляхи його реалізації є як у растрових, так і у векторних системах.

Лінійні об'єкти "високого рівня". Деякі типи ліній мають особливе значення і тому, мабуть, виправдовують свою назву об'єктів високого рівня. До таких типів можна віднести, наприклад, такі лінійні утворення, як кордони (межі), маршрути та мережі.

Перший тип виникає у топологічних структурах під час встановлення відношень між атрибутами ліній і полігонів, які до них прилягають. Ці лінії називаються кордонами або межами (залежно від державного статусу територій, які вони розділяють), при перетинанні яких припускається значна зміна одного або багатьох атрибутів місцевості. Іншими словами, важливість лінійних об'єктів високого рівня зумовлена функцією поділу властивостей територій, що до них прилягають.

Прикладом лінійних об'єктів "високого рівня", може слугувати державний кордон між Білоруссю й Україною на карті адміністративно-територіального устрою (рис. 4.16).

Лінія "високого призначення" – кордон, дає можливість відносити всі галузі та райони, що розташовані північніше від неї, до Білорусі, а розташовані південніше – до України.

Якщо ця лінія не має зазначених атрибутів, як це відбувається в нетопологічних системах, то доводиться вживати спеціальні заходи для поділу об'єктів за принципом приналежності до держави (створювати окремі полігональні об'єкти в межах країни та проводити вибір у межах площі замість того, щоб просто користуватися лінією кордону).

Лінії можуть також ставати об'єктами "високого рівня", коли вони пов'язані одна з одною певними відношеннями. В таких випадках це не просто зображення лінійних об'єктів або меж між полігонами, а особливі структури, які разом із вузлами утворюють маршрути (routes) і мережі (network).

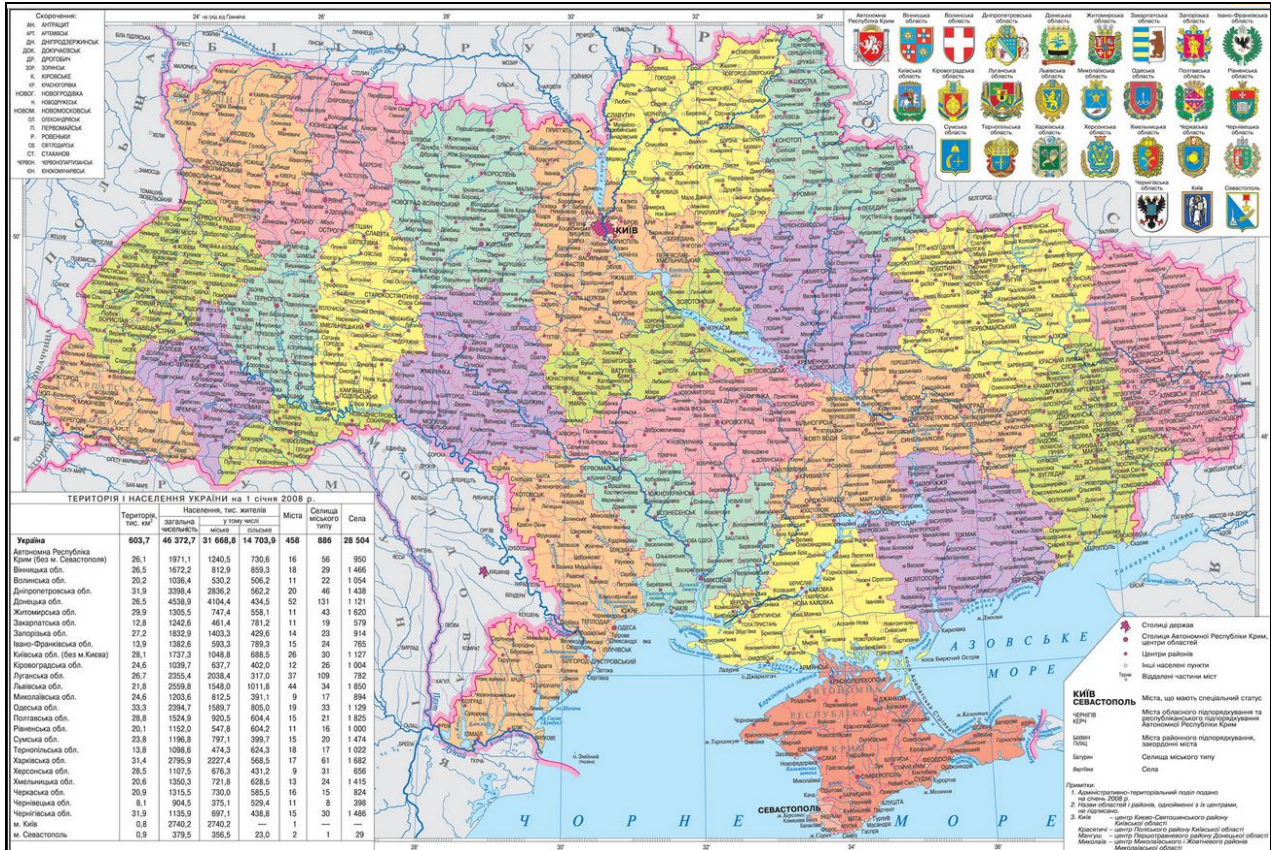


Рис. 4.16. Карта адміністративно-територіального устрою України

Мережі – набір сполучених лінійних об'єктів, уздовж яких можливе прямування від одного вузла до іншого.

Мережі дозволяють моделювати різні потоки: прямування автомобілів і поїздів, транспортування вантажів, перекачування нафти, газу, води, і навіть міграції тварин міграційними коридорами. У всіх цих випадках потрібно виконувати аналітичні операції з об'єктами мереж. Тому лінії повинні мати спеціальні атрибути, необхідні для аналізу потоків, наприклад, обмеження швидкості.

Растрові ГІС не підходять для роботи з мережами, бо у них немає засобів явного визначення мереж [15].

Мережі або їх частини бувають:

- прямолінійні, як автомагістраль (рис. 4.17 а);
- деревоподібні, як річкова мережа (рис. 4.17 б);
- контури, як комбінація вулиць (рис. 4.17 в).

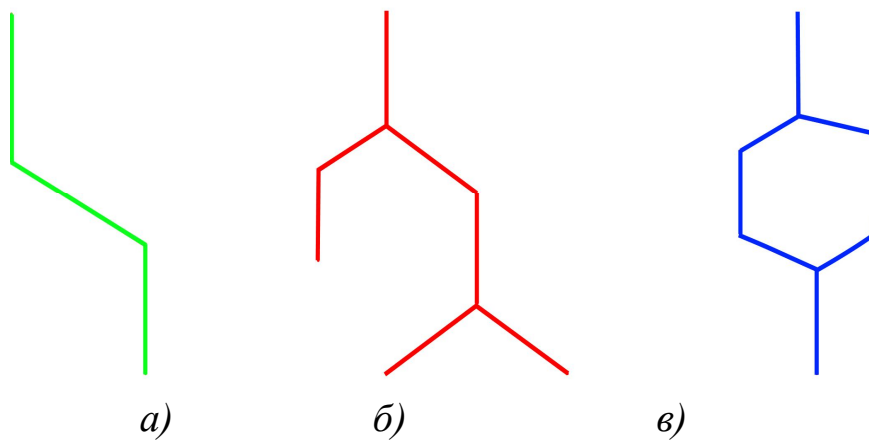


Рис. 4.17. Види мереж:
а – прямолінійні; б – деревоподібні; в – контури

Мережі можуть мати або не мати фіксований напрямок, тобто бути спрямованими чи неспрямованими. Наприклад, річки за нормальних обставин, мають тільки один напрям течії – униз по схилу. Аналогічно, на вулицях з одностороннім рухом дозволено просування тільки в одному з напрямків. У випадку, якщо один відрізок мережі перетинається з іншим, можлива зміна напрямку руху або заборона повороту в одному чи декількох напрямках. У неспрямованих мережах потік може рухатися у будь-якому напрямку [24]. Оскільки мережі можуть моделювати напрямки потоку, можливість переходу з відрізка на відрізок, опір руху чи його заборону, дозволена швидкість тощо, то всі ці параметри потрібно закодувати в таблиці властивостей мережі.

Варто зазначити, що всі сучасні професійні векторні ГІС або їх додатки дозволяють введення таких атрибутів і відповідне моделювання.

Відсутність можливості такого моделювання істотно обмежує діапазон виконуваних аналітичних функцій такої ГІС, тому при придбанні ГІС необхідно це враховувати.

Сукупність лінійних об'єктів "високого рівня". Подібно точковим, лінійні об'єкти "високого рівня" також можуть утворювати сукупності. Наприклад, можна об'єднати площі з високою щільністю дорожньої мережі або території з невеликою кількістю огорож.

Можна також визначати сукупність за ознакою подібної просторової протяжності лінійних об'єктів або за такими характеристиками розподілу об'єктів, як регулярність або випадковість. Більшість ГІС не мають спеціальних алгоритмів для реалізації зазначених функцій.

Для їх застосування доводиться використовувати додаткові спеціальні програми, засоби розширення або модифікувати ГІС за допомогою внутрішньої макромови [24].

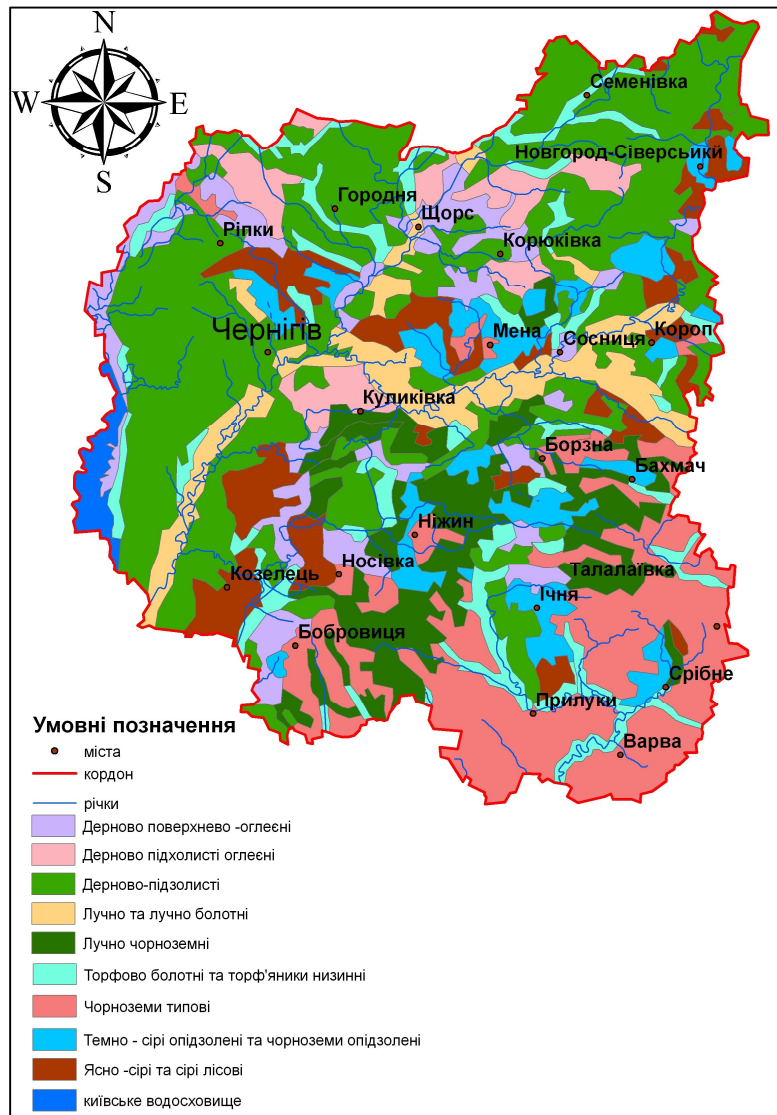


Рис. 4.18. Карта ґрунтів Чернігівської області

Полігональні об'єкти "високого рівня". Як точки і лінії, полігони також можуть бути об'єктами "високого рівня". Самі полігони можуть використовуватися для визначення регіонів – ділянок земної поверхні, які мають визначену єдність географічних характеристик. Наприклад, політичні регіони визначаються національними кордонами, етнічні – походженням населення, біогеографічні – схожістю рис організмів. У ГІС виділення цих регіонів може ґрунтуватися на атрибутах, які визначають кожний полігон або набір полігонів. Наприклад, можна визначити регіон, відібравши всі полігони, у яких головним рослинним компонентом є ліс. Це дасть можливість виділити "лісовий регіон", або визначити регіони з однаковими типами ґрунтів (рис. 4.18).

Перед пошуком регіонів треба заздалегідь визначитись, які саме регіони потрібні користувачу, і як вони повинні визначатися. Створення регіонів – справа складна, тому існує велика ймовірність, що вибір наявних полігонів або ділянок растру не буде достатнім для їх визначення.

Найчастіше доводиться об'єднувати набори атрибутів з декількох різних покриттів. Можливість визначення регіонів на основі великої розмаїтості характеристик є однією з "найкорисніших" функцій ГІС. У деяких випадках регіони можуть створюватись як полігони, що містять не просто однакові атрибути, а й схожі комбінації різних атрибутів [15].

Регіони відрізняються не тільки атрибутами, але й своєю конфігурацією в просторі. Розрізняють три основних види регіонів (рис. 4.19) [15]:

- суцільні;
- фрагментовані;
- перфоровані.

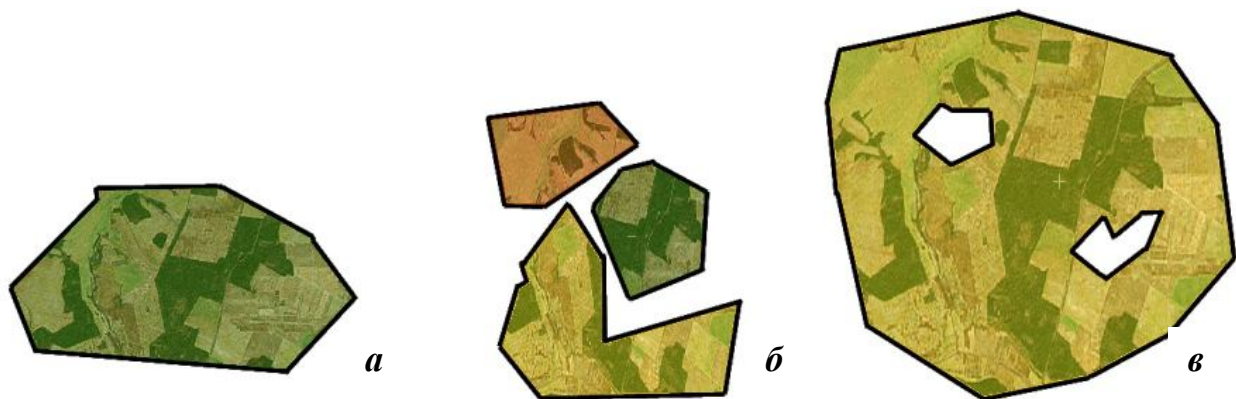


Рис. 4.19. Види регіонів:

а – суцільний; б – фрагментований; в – перфорований

Суцільний регіон утворює одну область. При цьому атрибути полігонів, що дозволяють його створити, можуть бути як однаковими (гомогенний регіон), так і різними (гетерогенний регіон).

Фрагментований регіон (гомогенний або гетерогенний) складається з двох або більше полігональних фігур, розділених ділянками, які не відносяться до цього регіону. Наприклад, лісовий регіон може виглядати як певна множина розкиданих по карті полігонів, що мають при цьому єдиний набір дерев визначеного типу. Для фрагментованих регіонів немає обмежень щодо відстані між полігонами, які їх утворюють, за умови збереження подібності атрибутів.

Перфорований регіон, на відміну від фрагментованого, не складається з окремих полігонів, а виключає деякі з них. Тобто такий регіон є суцільною областю, з якої виключені внутрішні полігони, так звані отвори або острови. Цікаво, що між перфорованими та фрагментованими регіонами можна легко встановити зв'язок. Завдяки цьому полігони, розташовані всередині перфорованого регіону, можна об'єднати в єдиний регіон, але вже фрагментований, за ознакою подібності, а інколи й неподібності атрибутів.

Усі розглянуті об'єкти (як прості, так і високого порядку) ГІС повинні розпізнавати автоматично. Кожен з них повинен мати можливість

бути виділеним, окремо затабульованим і відображеним. У векторних і растрових системах, пов'язаних із СКБД, ці об'єкти визначаються в таблицях атрибутів. Прості растрові системи виконують цю операцію за допомогою класифікації.

4.5.3. Безперервні явища

Деякі сутності реального світу не можуть бути точно подані у вигляді дискретних точок, ліній або областей, оскільки безперервно змінюються у просторі. Їх можна тільки представити безперервними поверхнями, наприклад, рельєф, опади, температуру, тиск повітря, висоту, солоність океану, щільність населення тощо.

У програмному забезпеченні сучасних ГІС відсутні стандартні методи подання поверхонь, тому поверхні подаються у вигляді точок, ліній і областей з доданням координати висоти.

Поверхні – площинні об'єкти із значеннями висоти (Z). Побудова (відновлення) поверхонь здійснюється за допомогою математичних алгоритмів (інтерполяції й апроксимації) за вихідним набором координат X, Y, Z .

Поверхні оточують нас всюди. Пагорби, долини, пасма гір, скелі й багато інших утворень можуть описуватись із зазначенням їх місця розташування, займаною площею, орієнтацією та додаванням третього виміру – висоти.

Поверхні рельєфу складаються з великої кількості точок із значеннями висот. При цьому стверджується, що вони безперервні, оскільки ці точки розподілені без розривів по всій поверхні (рис. 4.20).

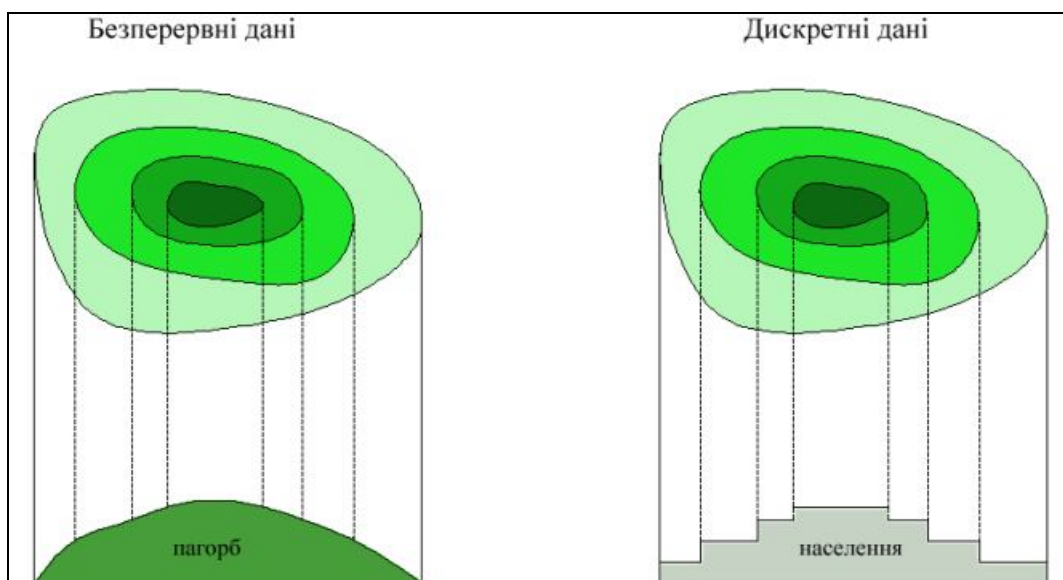


Рис. 4.20. Безперервні та дискретні поверхні

Через те що висота тривимірного об'єкта змінюється від точки до точки, то можна також вимірювати величину зміни висоти при переміщенні від одного краю об'єкта (явища) до іншого.

Маючи таку інформацію, можна визначити об'єм матеріалу в обраному утворенні. Такі обчислення здійснюють тоді, коли виникає необхідність визначення, наприклад, скільки води міститься у водоймі або скільки матеріалу (пустої породи) лежить поверх вугільного шару.

За допомогою графічних примітивів (точки, лінії, полігона) та поверхні відображується більшість природних і соціальних феноменів, які зустрічаються у повсякденному житті. Точки, лінії й полігони описуються відповідними символами, поверхні ж – або висотами точок або іншими комп'ютерними засобами.

Характеристиками поверхонь є критичні точки:

- піки та заглиблення – найвищі та найнижчі точки;
- лінії хребтів і низин – лінії зміни знака кута нахилу поверхні;
- проходи – місце сходження двох хребтів або низин;
- дефекти – різкі зміни значення (наприклад, стрімчаки);
- фронти – різкі зміни кута нахилу поверхні.

Подання поверхонь у вигляді точок називається цифровою моделлю місцевості та ґрунтується на вибірці через регулярні інтервали значень із досліджуваною поверхнею. У результаті утворюється матриця значень, яку називають растром, сіткою, решіткою, ґридом (рис. 4.21).

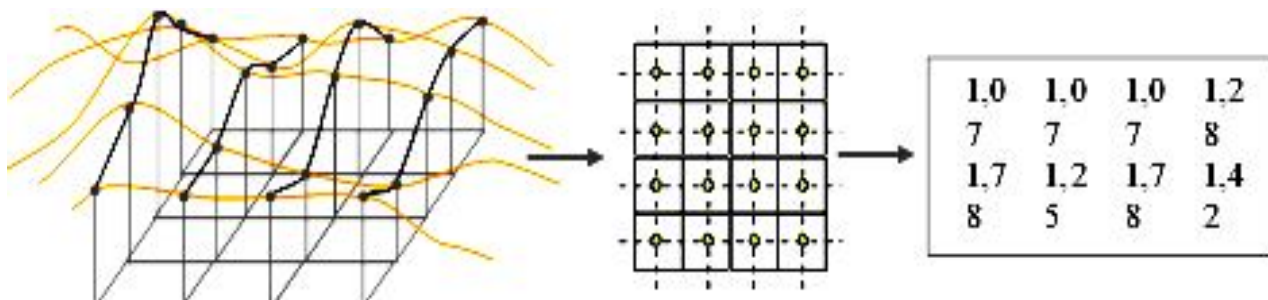


Рис. 4.21. Подання поверхонь регулярною мережею точок

Більшість цифрових моделей місцевості створюються саме в такому вигляді й можуть просто конвертуватись у растрове зображення для візуалізації. Подання поверхонь у вигляді лінійних об'єктів ідентичне зображенню на топографічних картах і ґрунтується на використанні лінійних об'єктів. Лінії з'єднують вибіркові точки, що мають однакові значення атрибута (рис. 4.22).

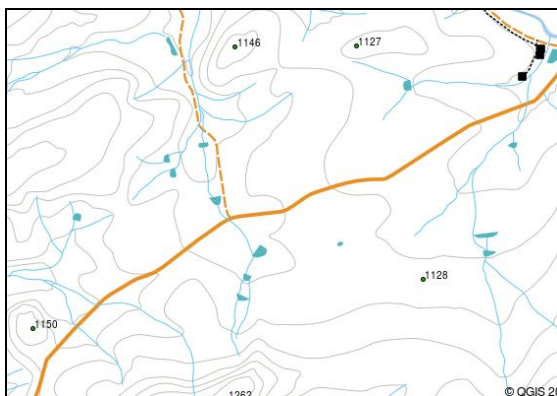


Рис. 4.22. Подання поверхонь ізолініями

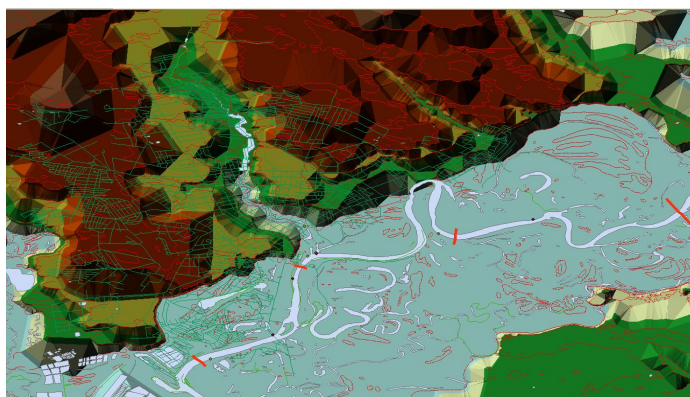


Рис. 4.23. Подання поверхонь за допомогою триангуляції

Поверхні можуть бути подані площинними об'єктами, найчастіше всього трикутниками, тому що ця фігура завжди опукла і лежить в одній площині. Подання поверхні набором трикутників називається *триангуляцією*. Вибіркові точки є вершинами трикутників, трикутники повністю покривають досліджувану територію. Вибіркові точки найчастіше всього розташовуються в піках й западинах, уздовж ліній хребтів і низин. Результатом є вузли, з'єднані дугами та трикутники (рис. 4.23).

При використанні безперервних даних досить часто виникає необхідність визначення атрибута поза точками, лініями або вершинами трикутника, що подають поверхню. Ці значення обчислюються шляхом інтерполяції, за найближчими точками у яких відома величина атрибута.

Поверхні зазвичай володіють одним атрибутом, але іноді можуть мати декілька (наприклад, багатозональні космічні знімки). Кожна комірка має одне значення на всій описуваній нею площі.

4.5.4. Узагальнені за площею об'єкти

Безперервні дані також можуть бути подані у вигляді обмежених площ, які вміщують дані одного типу, наприклад, землі або рослинності. Незважаючи на те, що дані змінюються безперервно, межа вказує на дискретну зміну показника за площею, наприклад, на земельних ділянках, де межа юридично визначена. Таким чином подається інформація на карті ґрунтів або карті екомереж (рис. 4.24).

Дані цього типу характеризують загальну кількість об'єктів у межах даної площі або її узагальнені показники, наприклад, кількість підприємств у межах адміністративного району, загальну кількість водостоків у межах басейну водозбору, кількість будинків у кожному кварталі, забруднення атмосферного повітря в окремому районі (рис. 4.25) тощо.

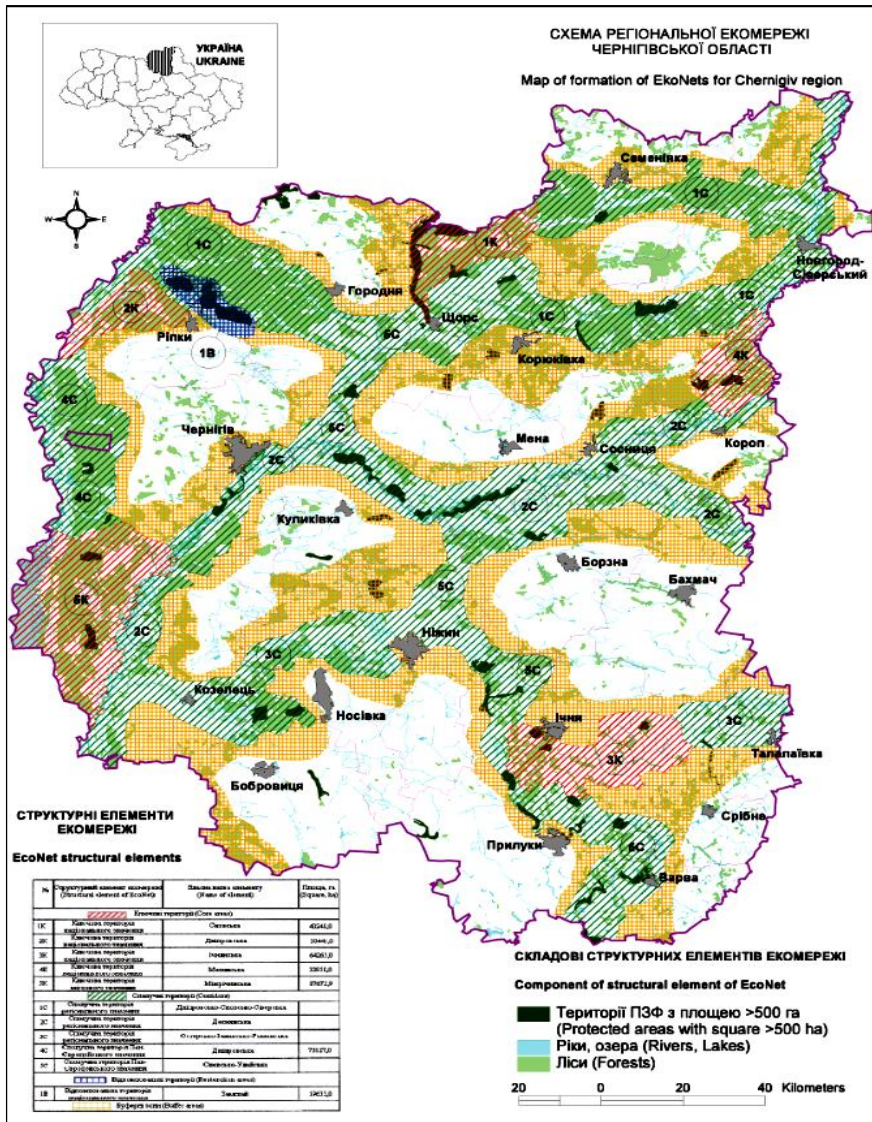


Рис. 4.24. Приклад відображення безперервних явищ полігонами – елементами екомережі

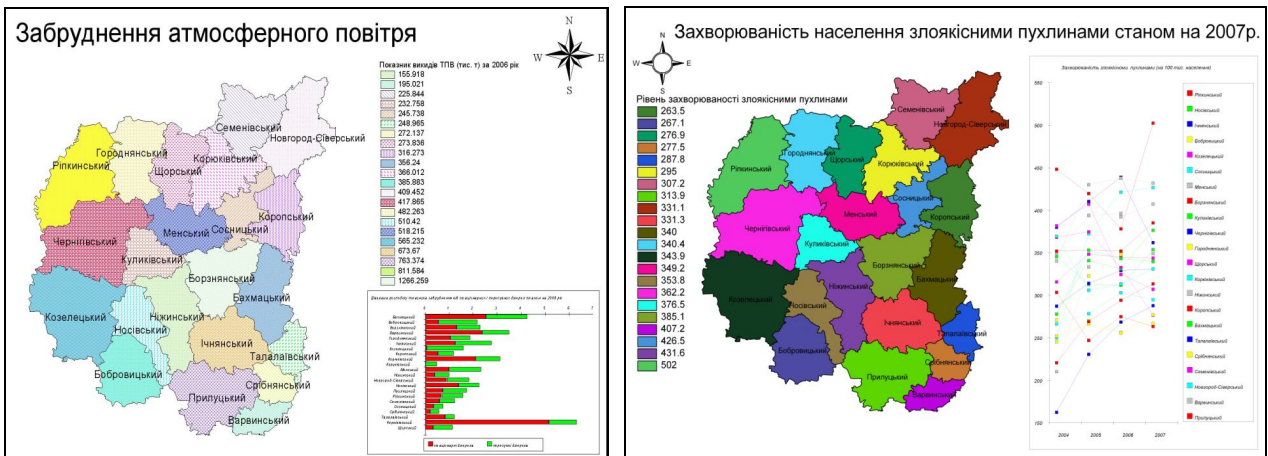


Рис. 4.25. Приклад тонового відображення

Часом дані надходять до ГІС вже в узагальненому (агрегованому) вигляді, наприклад, демографічні дані, що оперують абстрактними поняттями "населення", "садиби" тощо, або відсоткове співвідношення категорій (жителі віком до 60 років, кількість захворювань на 1000 осіб тощо). Ділова інформація також узагальнюється в межах виробничих та адміністративних структур.

Узагальнювати можна й дискретні та безперервні події. Якщо об'єкти мають код, який визначає їхню належність певній площі, вони можуть стати матеріалом для статистичного аналізу. Наприклад, середня зарплата по районах міста, області, областям. Ця цифра характеризує площу в цілому. Далі необхідно тільки вирішити, який саме показник характеризує дану площу на карті, та підібрати тип відображення.

Картографічне подання об'єктів геопростору вищерозглянутими графічними примітивами зображено на рис. 4.26.


Картографічне представлення				
		точкове	лінійне	площинне
Об'єкти реального світу	точкові	 дерево	 ланцюг валунів	 тварини ареал
	лінійні	 →  аеропорт	 залізниця	 річкова мережа →  басейн річки
	площинні	 плямо-хімічне забруднення → 	 водосховище	 земельна ділянка
	об'ємні	 кар'єр → 	 долина річки → 	 іригаційний стік → 

Рис. 4.26. Об'єкти реального світу та їх картографічне подання

V. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС

Сьогодні за допомогою ГІС інвентаризують природні та трудові ресурси, планують мережі охорони здоров'я й обслуговування населення, здійснюють розвиток міст і населених пунктів, проектують траси нафтопроводів і транспортні магістралі, розробляють екологічні заходи, аналізують результати виборів, вирішують багато інших наукових та практичних задач. Саме в цьому й полягає головне призначення ГІС – надавати користувачам достовірну й опрацьовану інформацію для розв'язку управлінських і аналітичних задач або, як висловлюються фахівці з геоінформатики, "забезпечувати комп'ютерну підтримку прийняття рішень". Зазвичай, для цього використовуються оперативні карти, які виявилися найбільш придатними засобами оцінки ситуації для більшості людей завдяки наочності й оглядовості. Саме так улаштована людина, яка вважає, що краще "один раз побачити..."

5.1. Джерела даних для ГІС

Людина завжди брала геодані з навколишнього середовища, викарбовуючи на глиняній табличці план земельних угідь, землі випасу, визначаючи своє місцезнаходження за висотою сонця й розташуванням зірок, розглядаючи околиці з найвищого місця тощо.

Існуючі джерела геоданих для ГІС – численні та різноманітні, як за якістю, так і за точністю. Основними джерелами даних для ГІС виступають (рис. 5.1):

- картографічні джерела;
- дані дистанційного зондування (ДДЗ) і фотографічні дані;
- дані польових вишукувань;
- дані різноманітних кадастрів;
- Інтернет;
- дані гідрометеорологічних досліджень;
- літературні (текстові) дані;
- статистичні дані.

"Тип джерела" об'єднує однорідну сукупність вихідних матеріалів, кожна з яких відрізняється комплексом характеристик. До них належить, наприклад, така важлива ознака, в якій (цифровій або аналоговій формі) отримується, зберігається та використовується той або інший тип даних, від чого залежить легкість, вартість і точність уведення цих даних у базу даних ГІС.

Зазвичай у ГІС рідко використовується тільки один вид даних, найчастіше відбувається поєднання різноманітних даних про певну територію, які отримуються з різних джерел.

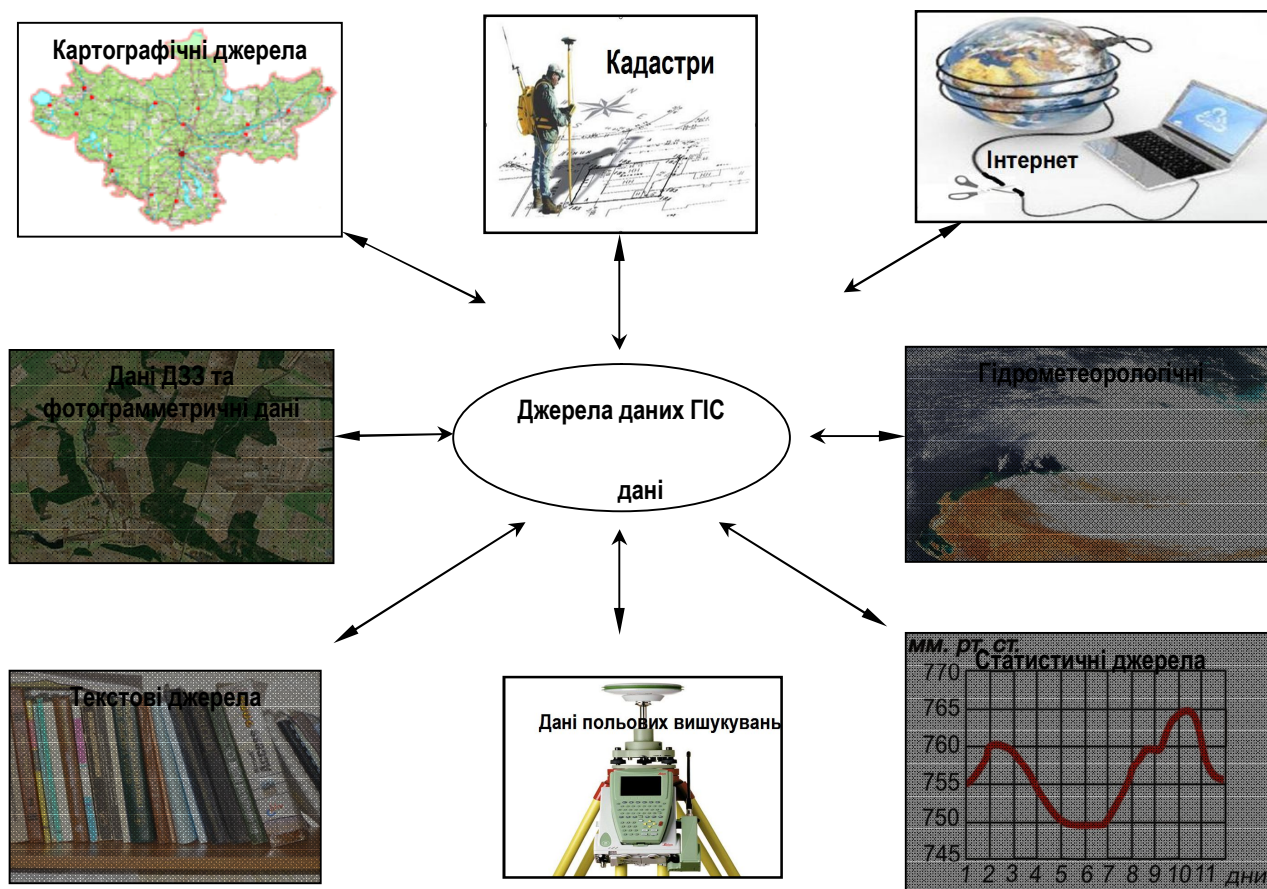


Рис. 5.1. Джерела даних для ГІС

За способом отримання даних у геоінформатиці їх поділяють на *первинні* та *вторинні*.

Первинні дані – це дані, що отримані вимірами або спостереженнями безпосередньо на досліджуваному об’єкті, наприклад, шляхом аерокосмічного знімання, вибіркового дослідження в польових умовах або дистанційного зондування чи за допомогою GPS.

Вторинні дані – це дані, які отримують на основі обробки **первинних даних** (наприклад, рішення прямої засічки за даними польових журналів), або з уже наявних моделей даних (наприклад, сканування зображення карт, знімків).

Відмінність цих даних не впливає на технологію опрацювання. Більш важливим фактором є сумарна похибка виміру координат точок досліджуваних об’єктів. У випадку виникнення проблеми підвищення точності обробки даних, необхідно провести ретельний аналіз даних і обрати (при рівних параметрах) первинні джерела, оскільки вони містять менше похибок, спричинених методами вимірів й обробки.

Таким чином, з наведеного зрозуміло, що інформацію про властивості та характеристики об'єктів (процесів, явищ) можна отримувати за допомогою різних технологій. Кожна технологія дозволяє збирати певні дані. Різноманітність технологій і методів збору породжує різноманітність типів даних, які згодом необхідно опрацьовувати. Наприклад, на рис. 5.2 зображена схема житлового комплексу, де представлені: будинок, що цікавить потенційного покупця, його план і фотографія.

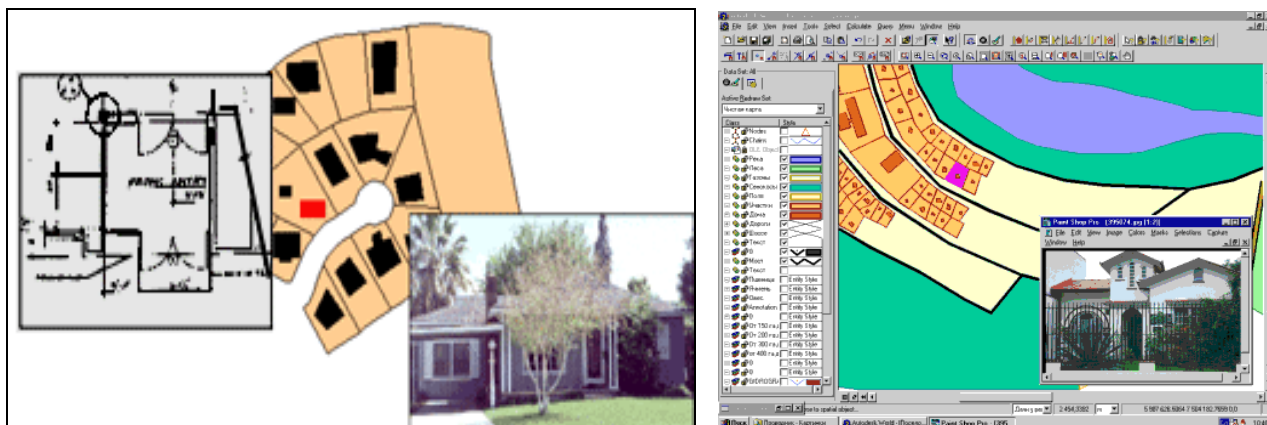


Рис. 5.2. Подання даних у різних формах (карта, план, фото)

Клас, що утворюють різноманітні вхідні, нестандартизовані дані називають вхідними даними.

Вхідні дані зазвичай є різнорідними за стандартами, формами, поданням тощо. Оскільки опрацьовувати всю розмаїтість даних незручно та неефективно, то для спрощення процесу обробки, збереження і можливості обміну, різнорідні дані в ГІС потребують попередньої обробки для їх *уніфікації*. Цей етап опрацювання вихідних даних називають *первинною обробкою даних*. Клас, що утворюють внутрішні, стандартизовані щодо технологій обробки, дані, називають *уніфікованими даними*.

Уніфікація – процедура зведення різнорідних даних до єдиного виду.

В процесі уніфікації даних здійснюється побудова єдиної інформаційної моделі. Процес перетворення вхідних даних на уніфіковані, представлений на рис. 5.3.

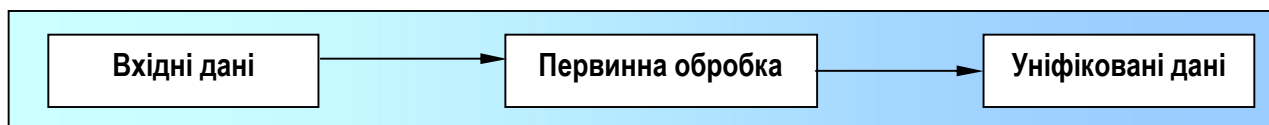


Рис. 5.3. Процес перетворення вхідних даних в уніфіковані

Мета цього процесу полягає в доповненні даних інформацією, якої бракує, спрощенні даних, виключенні надлишкових даних, аналізі похибок (видаленні або зменшенні) тощо.

Уніфікація за своєю суттю не змінює інформативність сукупності даних, а зводить їх в інформаційну основу. Однак, за необхідності може відбуватись зміна інформативності та її аналіз.

Сукупність упорядкованої інформації, що використовується при функціонуванні ГІС, утворює її інформаційну базу.

Джерела просторових даних для ГІС – основа їх інформаційного забезпечення.

Інформаційне забезпечення ГІС – це сукупність методів, засобів і процесів спрямованих на збір, оцінку, систематизацію та класифікацію інформації для створення баз даних.

Аналіз літератури [8, 15, 20, 21, 22, 24, 40] свідчить, що витрати на інформаційне забезпечення геоінформаційних проектів становлять від 70 до 90 % від їх загальної вартості. До 70 % усіх даних інформаційних ресурсів націй, регіонів і відомств мають просторову прив'язку або можуть бути більш або менш легко координовані, отримавши статус просторових. Незважаючи на це, інформаційне забезпечення ГІС залишається вкрай трудомісткою справою. Це пов'язано з тим, що цифрове середовище існування ГІС передбачає цифрову форму, яку воно обробляє, а найголовнішу частку джерел складають аналогові дані ("паперові" карти, статистичні табличні звіти, тексти).

5.2. Картографічні джерела

Мабуть, важко знайти людину, яка хоча б раз у житті не зверталася до карти²¹, як до складного, дуже цікавого та насиченого надзвичайним змістом креслення. Бізнесмен і держслужбовець, льотчик і будівельник, геолог і агроном, лісник і мореплавець, учений і офіцер, синоптик і політик час від часу звертаються до карти. Людина, яка вміє читати карту, знаходить у ній стільки матеріалу, на опис якого знадобились би сотні сторінок друкованого тексту.

Карта на всіх етапах свого існування слугувала і слугує людству джерелом інформації про земну поверхню. Жодна наука про Землю не обходиться без картографічних матеріалів, накопичення та систематизації фактичних даних, аналізу й пізнання навколишнього світу. Географія,

²¹ Назва "карта" походить від латинського слова "charta", яке позначає аркуш, папір. Уперше термін "карта" з'явився в середньовіччя, в епоху Відродження, до цього в ужитку були слова "tabula" та "descriptions" (зображення). В Росії первісно карта називалася кресленням, і тільки в часи Петра I з'явився спочатку термін "ландкарти", а потім – "карти".

геологія, геофізика, гідрографія, екологія, астрономія, соціологія, історія, археологія, економіка, землевпорядкування, агрономія – навіть важко перерахувати всі галузі науки і практики, де застосовуються карти. Карти та знімки нині висвічуються на моніторах і електронних навігаторах у капітанських рубках, у кабінах космічних кораблів, у офісах менеджерів і в салонах сучасних авто.

Картою називається побудоване в картографічній проекції зменшене, узагальнене зображення поверхні Землі або її частини, поверхні іншого небесного тіла або неземного простору, яке показує розташовані на них об'єкти у певній системі умовних знаків.

Карта є провідною мовою геоінформатики, тому що це є реальна модель поверхні, яка забезпечує просторово-часову відповідність. При цьому можна виділити три основні форми подібності:

- геометричну (розмір, форма об'єктів);
- часову (відповідність стану на даний момент часу);
- топологічну (взаємовідношення об'єктів).

Крім названих, можна також відзначити: структурну відповідність, конкретність, абстрактність, вибірковість (відбір даних), синтетичність, метричність, однозначність картографічних перетворень, наочність; наявність "словника" – легенди карти – для перекладу з природної або штучної мови на мову карт.

Карта є провідною мовою геоінформатики.

Картографування в ГІС – створення, аналіз перетворення карт як моделей об'єктів, явищ, процесів з метою отримання систематизованих і нових знань про навколишній світ.

При цьому можна виділити три основні принципи моделювання карт:

- *математична формалізація* (перехід від сферичної поверхні Землі до площини через застосування проекції);
- *картографічний символізм* (використання систем умовних позначень);
- *картографічна генералізація* (відбір головного, істотного та його цілеспрямоване узагальнення відповідно до призначення, тематики і масштабу карти).

Карти існують тисячі років, і всі ми так або інакше звикли до них та користуємося ними. Традиційний підхід до карт припускає, що карта – це кінцевий продукт, у якому здійснено просторовий розподіл об'єктів реального світу через використання символів, класифікацію тощо.

Карти зображення навколишнього світу показують положення об'єктів у просторі, їх форму, якісні та кількісні характеристики. Ці взаємопов'язані геометричні об'єкти й атрибути є необхідними складовими картографічного зображення. Карта є моделлю просторових явищ, абстракцією. Вона не є мініатюрною версією реальності, призначеною

для відображення всіх деталей предметної галузі, оскільки відобразити всі деталі й об'єкти реальності на карті принципово неможливо. Існують межі того, що можна зображувати на картах.

Карта – одне з найважливіших джерел масових даних для формування позиційної й змістовної частин баз даних ГІС.

Картографічні моделі в ГІС можуть застосовуватись як:

- джерела просторових даних;
- спосіб збереження та інтеграції даних про просторові об'єкти;
- засіб організації запитів до БД;
- засіб просторового аналізу;
- спосіб представлення результатів роботи з ГІС.

При введенні існуючих карт до бази (банку) даних ГІС, необхідно знати про вплив різних рівнів генералізації, масштабів, проекцій, символізації та ін. на те, що вводиться і як це вводиться.

Для аналізу даних необхідно знати про можливості похибок у деяких пластах (темах, шарах), створених із дрібномасштабних карт.

Більшість технологій ГІС ґрунтуються на методичному апараті, попередньо розробленому в картографії. Зокрема до них належать трансформації картографічних проекцій та інші операції на еліпсоїді, які базуються на математичній картографії, обчислювальній математиці (розрахунок площ, периметрів тощо).

Відносно новою сферою моделювання є поєднання аерокосмічного та картографічного моделювання (рис. 5.4).

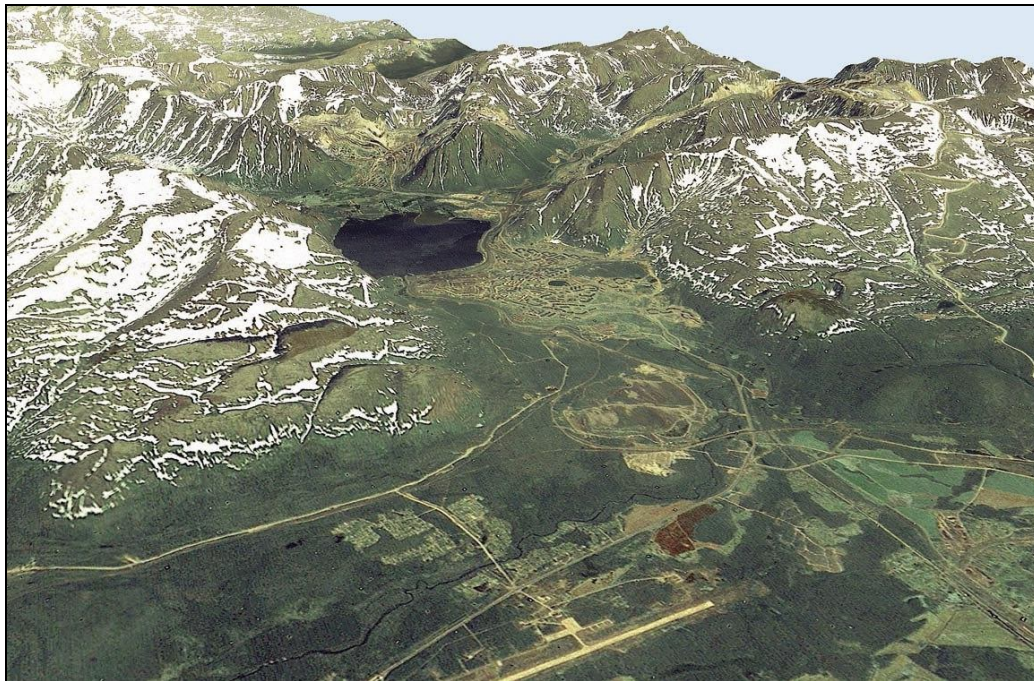


Рис. 5.4. Приклад поєднання аерокосмічного та картографічного моделювання

Використання супутникових даних разом з картами значно розширює уявлення про територію дослідження. Аерокосмічні знімки як моделі місцевості відображують форму об'єктів, відповідність розмірів, оптичні властивості об'єктів і зовнішній вигляд, тобто морфографію. Ця первинна інформація отримується шляхом дешифрування знімків.

Аерокосмічні знімки надають актуальну інформацію про природні й інфраструктурні об'єкти, що є цінною інформацією для прокладання маршрутів, враховуючи те, що карти з території України давно не оновлювались і часто мають істотні викривлення [87].

Побудова та кількісний аналіз карт, створених за аерокосмічними моделями, є основою нового напрямку в картометрії – динамічної картометрії.

5.2.1. Класифікація картографічних джерел

Картографічні джерела можуть бути різноманітними (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Фрагменти карт різного призначення

Всі карти, що зображують поверхню Землі, а також моря і океани, називаються *географічними картами*, які показують розміщення, стан і зв'язки різних природних і суспільних явищ.

Географічна карта – зменшене, узагальнене, математично визначене, образно-знакове зображення земної поверхні на площині, яке показує розміщення, стан і зв'язки різних природних і суспільних явищ, які відбираються і характеризуються у відповідності з призначенням кожної конкретної карти [69].

Географічні карти класифікуються:

- *за територіальним охопленням*: світові карти, карти материків, карти держав тощо;
- *за змістом*: загальногеографічні та тематичні карти;
- *за масштабом*: велико-, середньо- і дрібномасштабні карти;
- *за призначенням*: довідкові, учбові, туристичні, шкільні тощо.

Загальногеографічні карти (топографічні, оглядово-топографічні, оглядові) включають різноманітні відомості про рельєф, гідрографію, ґрунтово-рослинний покрив, транспортні мережі, населені пункти, кордони тощо.

На карті зображуються об'єкти і явища природи та суспільства. Окремі з них можна спостерігати на місцевості і провести топографічне знімання їх контурів (наприклад, гідрографію, рельєф, ґрунтово-рослинний покрив, різні споруди тощо). Інші об'єкти, такі як кліматичні явища, магнітні схилення тощо, утворюються в результаті спостережень за допомогою спеціальних приладів. Певні явища пов'язані з дослідженням життєдіяльності людей та історичних подій. На карті можуть позначатися не тільки об'єкти і явища місцевості, а й різні явища, що відбуваються над земною поверхнею (вітри, температури повітря тощо) або в її середині (епіцентри землетрусів). Карти можуть показувати зміну явищ у часі (розливи річок і озер), переміщення явищ (маршрути подорожей, пасажиро- і вантажопотоки, морські течії), реальні та прогнозовані явища, давати оцінку явищам (оціночні карти) тощо.

Одними з найважливіших властивостей географічних карт є їх *оглядовість* і *наочність*. Оглядовість дозволяє користувачу охопити одним поглядом усю відображену на ній земну поверхню або її частину. Цей процес полегшується тим, що на карті об'єкти та явища реальності відображені з відбором й узагальненням їх якісних характеристик, тобто в результаті читання карти у користувача виникає узагальнений, проте адекватний дійсності "образ місцевості". Цими властивостями одночасно не володіє жодне інше картографічне зображення (аеро- і космічні знімки, малюнки, математичні моделі тощо). Якщо знімки дають копію місцевості, її "портрет", то на картах за допомогою умовних знаків можна передати

кількісні та якісні характеристики об'єктів, показати об'єкти, які не сприймаються органами почуттів (магнітні схилення), недоступні погляду людини об'єкти (будову земної кори на великих глибинах), представити наукові поняття, узагальнення, абстракції.

На карті може бути показане розміщення явища, його стан, зв'язок різних явищ природи і суспільства.

Особливістю географічної карти є те, що всі її елементи зображуються в плані. Іншою особливістю географічної карти, як уже зазначалося, є застосування спеціальних умовних знаків для відображення вмісту карти. Деякі умовні знаки за своїм малюнком нагадують зображуваний об'єкт. Застосування різних умовних знаків дозволяє складати карти, які відображають декілька явищ (наприклад, рельєф, ґрунтово-рослинний покрив, ґрунти тощо).

При зображенні багатьох об'єктів дають їх контури, а всередині контурів поміщають прийняті позначення. Так, поверхня морів, озер і річок фарбують блакитним кольором, ґрунтово-рослинний покрив відображають кольором, штрихуванням або різними значками.

Якщо певний об'єкт не відображується в масштабі карти, то застосовують умовні значки довільного розміру, проте завжди необхідно прагнути до їх правильної локалізації. Наприклад, знак автостради, накресленої на карті, якщо її ширину виміряти з урахуванням масштабу, значно перевищує ширину цієї дороги на місцевості, проте розташовуватись він повинен так, щоб його вісь збігалася з дійсним положенням осі дороги. Для інших об'єктів (вказівник доріг, дерево, що стоїть окремо, труба) умовні знаки наносяться так, що їх основа збігається з дійсним положенням об'єкта.

Підписи на карті також можуть відігравати роль особливих умовних знаків, указуючи не тільки назву того або іншого об'єкта, а й найчастіше даючи якісну, а часом і кількісну його характеристику. Наприклад, застосовуючи різні шрифти, відображають тип поселень: міста – прямий заголовний шрифт, міські селища – скошений заголовний, сільські поселення – прямий рядковий; судноплавну частину річки підписують прописними буквами, а несудохідну – рядковими.

Умовні знаки повинні добре читатися, бути легкими для виконання, густими (компактними), бути зручними для друкування, не перевантажувати карту тощо.

Топографічна карта є сукупністю двох різних видів подання інформації. З одного боку, це креслення, на якому представлені геометричні об'єкти різного виду локалізації. Ці об'єкти описуються за допомогою просторових координат. З іншого – карта є поданням просторового розподілу різних параметрів або описових даних, що характеризують територію або її окремі частини, які описуються без залучення просторових координат.

Перший тип інформації називають *метричною* (позиційною, координатною, просторовою) інформацією, а другий – семантичною (описовою, атрибутивною, змістовною). Третім типом інформації є топологічні відносини між об'єктами, що представлені на карті.

Джерелом метричної інформації є здатність людини відрізнити певні частини простору та здійснювати виміри відстаней, площ, об'ємів. Метрична інформація, таким чином, відбиває властивість предмета розташовуватися в певній частині простору і займати певну його частку.

Джерелом семантичної інформації є спроможність людини розпізнавати (виділяти) певні частини простору і предмети, що знаходяться в ньому, та пов'язувати з цими частинами різноманітні визначення або характеристики. Таку інформацію в ГІС найзручніше зберігати в базі даних.

Топологічна інформація відображає топологічні властивості простору, тобто такі його властивості, які не змінюються за будь-яких лінійних деформацій простору, що відбуваються без розривів і склеювань. До топологічної інформації відносяться: точки перетинань об'єктів, інформація про приєднання об'єктів один до одного (або про спільні границі). Найпростішими топологічними властивостями є характеристики щодо розташування об'єктів відносно один одного, наприклад, ліворуч, праворуч. Яким би чином ми уявно не "розтягували" або "стискували" простір, характеристика об'єктів щодо один одного не зміниться.

Таким чином, використання географічних карт як джерел вихідних даних для формування тематичних структур баз даних ГІС є зручним і ефективним, тому що:

- *по-перше*, відомості, зчитані з карт, мають чітку просторову прив'язку;
- *по-друге*, в них відсутні пропуски, "білі плями" в межах зображеної території;
- *по-третьє*, вони в будь-якій своїй формі придатні для запису на машинні носії інформації.

Топографічні (масштаб 1:200 000 і більше), оглядово-топографічні (менше 1:200 000 до 1:1 000 000 включно) й оглядові (менше 1:1 000 000) карти містять різноманітні відомості про рельєф, гідрографію, ґрунтово-рослинний покрив, населені пункти, об'єкти господарської діяльності, транспортну мережу, лінії комунікацій, кордони тощо. У ГІС ці карти використовуються з метою отримання інформації про:

- певні об'єкти місцевості;
- просторову прив'язку об'єктів місцевості.

За допомогою топокарт можна визначити й безпосередньо цифрувати такі просторові об'єкти:

- систему координат (географічну чи топографічну);

- місце розташування й висоти пунктів опорної геодезичної мережі;
- оцінки висот рельєфу, контури й глибину ерозійних форм;
- назви населених пунктів, кількість будинків, тип і контури великих будівель, кар'єрів тощо;
- розташування та характеристики інженерних об'єктів, зокрема, тип покриття, ширину проїжджої частини й узбіччя для автодоріг, конструкцію, довжину й вантажопідйомність мостів, висоту (глибину) насипів і виїмок;
- місце розташування гідрографічних об'єктів, оцінки зрізів води, глибин, ширини русла, швидкості й напрямку течії;
- контури лісових масивів або ділянок природної рослинності, тип деревних порід, висоту й густоту рослинності, ширину лісосмуг;
- місцерозташування й тип елементів лінійної технічної інфраструктури (ЛЕП, трубопроводи).

Джерелом інформації про контури водних просторів, глибину й характер дна можуть слугувати навігаційні карти (рис. 5.6).

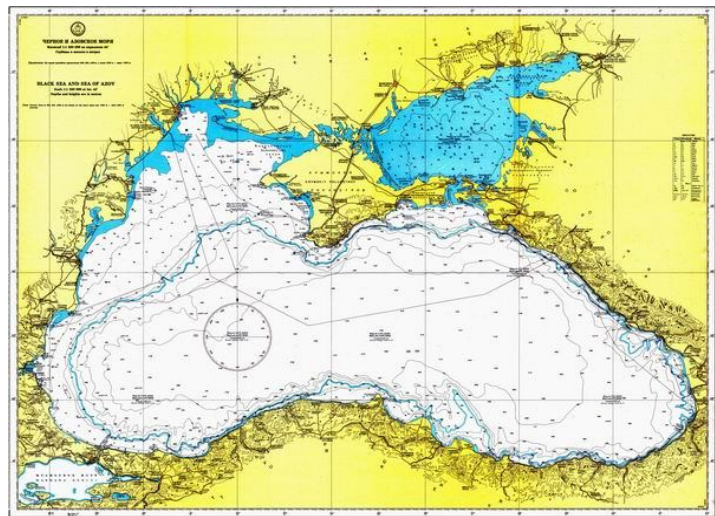


Рис. 5.6. Приклад навігаційної карти

Загальногеографічні й тематичні карти можуть слугувати джерелом даних для ГІС. Але треба враховувати, що більшість таких карт виконані в масштабі дрібніше 1:1000000 в різних картографічних проекціях і мають значні лінійні або кутові спотворення. Цифрування таких матеріалів вимагає урахування параметрів картографічних проекцій, дані про які є в більшості наявних картографічних редакторів.

У процесі обробки таких карт можуть знадобитися процедури загальної або локальної трансформації зображень для прив'язки системи координат джерела даних під систему координат загальної бази даних геоінформаційного проекту.

В геоінформатиці зустрічається велике розмаїття карт із геології, топографії або ґрунтознавства. У додаток до геологічних, топографічних, кадастрових і ґрунтових карт тематичне наповнення покриття ГІС включає карти рослинності, розподілу тварин, транспорту, комунальних служб, плани міст, зональні карти, карти землекористування, ландшафтів і знімки дистанційного зондування. Ці карти можуть мати як цілком звичний вид, так і такі нетрадиційні форми як блок-діаграми, карти щільності точок, об'ємні карти тощо. Для забезпечення можливості

подальшого використання даних з паперових карт у ГІС необхідно виконати цифрування.

До цієї ж групи джерел можна віднести фотокарти та космофотокарти – поліграфічні відбитки з фотопланів, складених за результатами аеро- або космічного знімання з нанесеними на них горизонталями та іншим картографічним навантаженням, прийнятим для загальногеографічних карт.

Застосування фотокарт як джерел даних відкриває нові можливості безпосереднього використання з цією метою цифрових моделей місцевості, які створюються в процесі фотограмметричної обробки дистанційних зображень.

Тематичні карти містять відомості з різних галузей природознавчих наук (геологія, гідрологія, океанографія, ґрунтознавство, землекористування, флора й фауна тощо). Призначення карти відображене в її масштабі, змісті та формі.

Карти природи. Це найбільш різноманітна за тематикою група карт, яка включає карти геологічної будови та ресурсів надр, геофізичні карти, карти рельєфу земної поверхні та дна океанів, метеорологічні й кліматичні, гідрологічні й океанографічні, ґрунтові, геоботанічні, медико-географічні, ландшафтні, загальні фізико-географічні, охорони природи. Серед карт земної кори та її ресурсів виділяють геологічні й тектонічні, четвертинних відкладень, новітньої тектоніки й корисних копалин, а також гідрогеологічних та інженерно-геологічних карт.

До групи карт рельєфу належать гіпсометричні, морфометричні (кути нахилу місцевості, експозиція схилів, горизонтальне і вертикальне розчленування рельєфу тощо) та геоморфологічні карти.

Тематика кліматичних карт дуже різноманітна. Сюди входять характеристики кліматоутворюючих факторів, карти термічного й вітрового режиму, режиму зволоження, атмосферних явищ, прикладні синтетичні та комплексні карти, наприклад, агрокліматичні, біокліматичні тощо. Трохи менш традиційними є карти заледеніння, лавин, мерзлоти.

Карти поверхневих вод поділяють на гідрографічні, водного режиму (річний, сезонний, місячний, максимальний і мінімальний стік, внутрішньорічний розподіл стоку тощо), льодового режиму, окремих гідрологічних явищ (повінь, паводків, межені, повеней), характеристик стоку (твердий стік, гідрохімія, температури), оцінок поверхневих вод (водного балансу, ресурсів тощо).

Серед карт ґрунтів і земельних ресурсів основною є ґрунтова карта, яка відображує генетичну характеристику ґрунтів, їх механічний склад і ґрунтоутворюючі породи. Залежно від специфіки території створюють карти ерозії, засолення ґрунтів тощо; при характеристиці рослинного

покрову відображають сучасний рослинний покрив (на фоні корінного лісу, природні кормові угіддя).

Класифікація карт тваринного світу передбачає карти тваринного розселення, зоогеографічні, тваринних ресурсів і форм їх використання, охорони та збагачення тваринного світу.

В коло медико-географічних карт включають карти медико-географічної оцінки території, нозогеографічні карти, спеціалізовані карти природи або соціально-економічні карти для медичної географії та рекомендаційні карти, пов'язані з вирішенням проблем оздоровлення території.

Серед карт природи розрізняють ландшафтні карти і карти фізико-географічного районування. До цієї ж групи можна віднести космічні тематичні карти (космофотогеологічні, космофототектонічні, космофото-ландшафтні тощо).

Соціально-економічні карти (промисловості, сільського господарства, транспорту, загальноекономічні, народонаселення тощо).

Кarti народонаселення. Для характеристик народонаселення застосовують способи картографічного зображення, які локалізують явища за пунктами або площами, причому більшість аспектів виражає об'єкт картографування в кількісній мірі, за винятком етнографічних особливостей населення.

Серед карт народонаселення виділяють: розміщення населення по території та розселення (характеристика чисельності населення в населених пунктах і по районах, щільність сільського населення, рівномірність розташування населених пунктів, типи розселення); етнографічна й антропологічна характеристика народонаселення (характеристика народонаселення за національністю, способом життя, культурою); демографічна характеристика (відображення статевовікової структури, природного та механічного руху населення); соціально-економічна характеристика (відображення соціально-класової структури суспільства і розгорнута характеристика трудових ресурсів).

Економічні карти. Даний клас карт найбільш численний і різноманітний серед карт соціально-економічної тематики. Розрізняють карти промисловості з поділом на видобувну та переробну або більш детальне подання за кожною галуззю промисловості (нафтова, вугільна, харчова, шкіряна, текстильна, деревопереробна, металопереробна, хімічна тощо). Ще більш численними є карти сільського господарства. Вони широко використовують характеристику природних ресурсів з їх господарською оцінкою, передусім земельних фондів, трудових ресурсів, матеріально-технічної бази сільського господарства тощо (рис. 5.7).

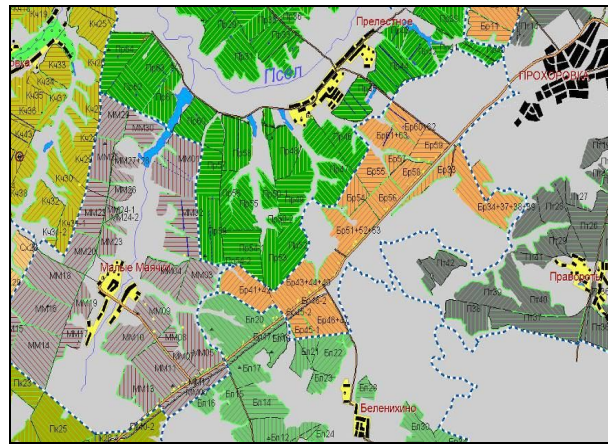
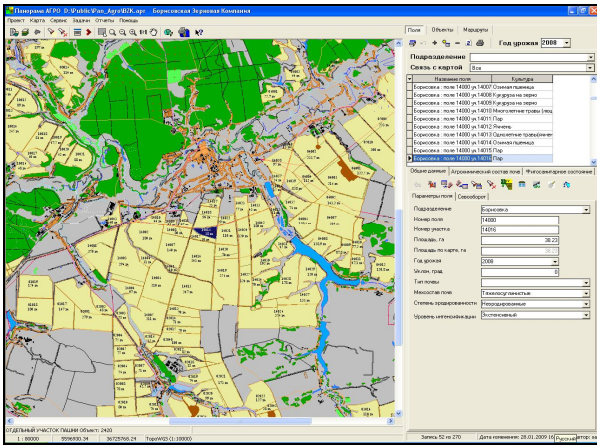


Рис. 5.7. Приклади карт сільськогосподарських угідь

Галузеві карти сільськогосподарського виробництва поділяють на карти землеробства та тваринництва, які, у свою чергу, характеризують умови вирощання культур, їх врожайність, собівартість і витрати на виробництво, розміщення видів худоби, структуру стада, продуктивність тварин, собівартість основних видів продукції, забезпеченість худоби природними кормовими угіддями тощо.

Щодо карт загальної характеристики сільського господарства, то їх можна поділити на карти сільськогосподарського використання земель, виробничих типів сільськогосподарських підприємств, сумарних виробничих витрат на 1 га сільськогосподарських земель, вартості валової та товарної продукції на 1 га сільськогосподарських земель, сільськогосподарських районів.

Схеми внутрішньогосподарського землепорядкування, що містять також інформацію про ґрунтовий покрив, зазвичай виготовляються в масштабах 1:25 000 і 1:10 000. Для населених пунктів існують архітектурні плани різних масштабів (1:5 000, 1:2 000, 1:500), на які нанесені вулична мережа, контури будинків, межі ділянок землекористування, підземні й наземні інженерні комунікації. Однак ці матеріали виконані в умовній системі координат, і для їх використання разом з іншими джерелами необхідне виконання певних просторових перетворень (рис. 5.8).

Карти лісового господарства характеризують поширення та використання лісових ресурсів.

Карти транспорту відображають розмаїтість прояву діяльності всіх видів транспорту (автомобільного, авіаційного, морського, залізничного), а також дають їх загальну комплексну характеристику. На картах також зображують засоби зв'язку.

Серед будівельних карт можна виділити карти капітального будівництва, будівельних і монтажних організацій, матеріально-технічної бази та територіальних комплексів будівництва.

Менш поширені карти торгівлі та фінансів. Логічним завершенням блоку економіки є загальноекономічні карти [24].

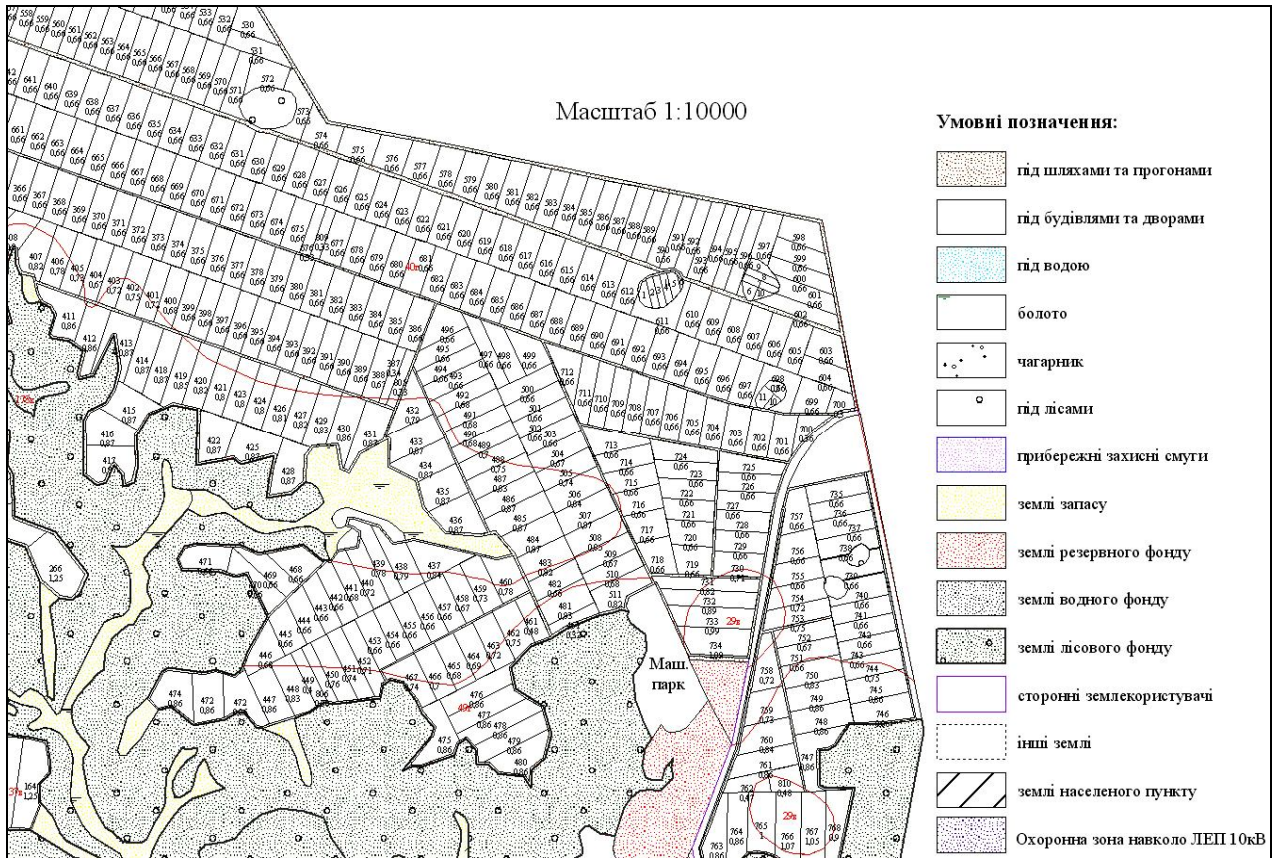


Рис. 5.8. Фрагмент схеми землепорядкування масштабу 1:10 000

Політичні карти (кордони адміністративного поділу території, комплексні атласи тощо). Ця група картографічних матеріалів є надзвичайно інформативною для ГІС, оскільки відомості, які наводяться в них, подаються в уніфікованій, систематизованій формі: з урахуванням проекції, масштабу, актуальності, достовірності та інших параметрів.

Історичні карти створюються на географічній основі, є математично визначеним, зменшеним, узагальненим образно-знаковим зображенням історичних подій, явищ, процесів або періодів. Зображення демонструються на площині в певному масштабі з урахуванням просторового розташування об'єктів. Карти в умовній формі показують розміщення, стан, сполучення та зв'язки історичних подій і явищ, що відбираються та характеризуються відповідно до призначення даної карти тощо.

Крім карт, джерелами даних можуть виступати й інші картографічні джерела: географічні атласи, рельєфні карти, що відтворюють земну поверхню у вигляді тривимірної об'ємної моделі, профілі (вертикальні розрізи земної кори за певними напрямками, побудовані в масштабі, які містять умовні позначки, подають земну поверхню й розміщені поблизу неї явища в узагальненому вигляді), блок-діаграми (є поєднанням перспективного зображення земної поверхні із профілями) тощо.

5.2.2. Типи картографічної інформації

Під час виведення інформації виникає проблема відображення результатів аналізу, при вирішенні якої необхідні знання про картографічні методи та критерії дизайну.

Для створення карти необхідно відібрати певні реальні об'єкти, згрупувати відібрані об'єкти (наприклад, мости, будинки, залізниці), спростити хвилясті лінії (наприклад, узбережжя), збільшити ті з відібраних об'єктів, які дуже малі, щоб читались у масштабі карти, ввести умовні знаки для різних класів відібраних об'єктів.

Існують три основні типи картографічної інформації:

1) **просторова інформація**, що описує положення й форму географічних об'єктів і їх просторові зв'язки з іншими об'єктами, наприклад, населення міста, або того, хто мешкає за вказаною адресою. Ця форма подання просторових даних складається з різних координатних систем, проєкцій, наборів символів, методів спрощення й генералізації.

Головною причиною високої оцінки можливостей карт у відображенні реальності є те, що вони є найбільш зручним графічним інструментом, створеним для передачі просторової інформації. Однак одних просторових даних недостатньо для опису картографічної чи складної графічної інформації. Картографічні об'єкти мають і описову інформацію;

2) **атрибутивна (семантична) інформація** надає опис про особливості об'єктів, які розташовані на карті. Сукупність можливих атрибутів визначає клас атрибутивних моделей ГІС.

Атрибутивні дані зберігаються в ГІС у табличній формі (рис. 5.9). Таблиця, яка зберігає атрибути об'єктів, називається *таблицею атрибутів*.

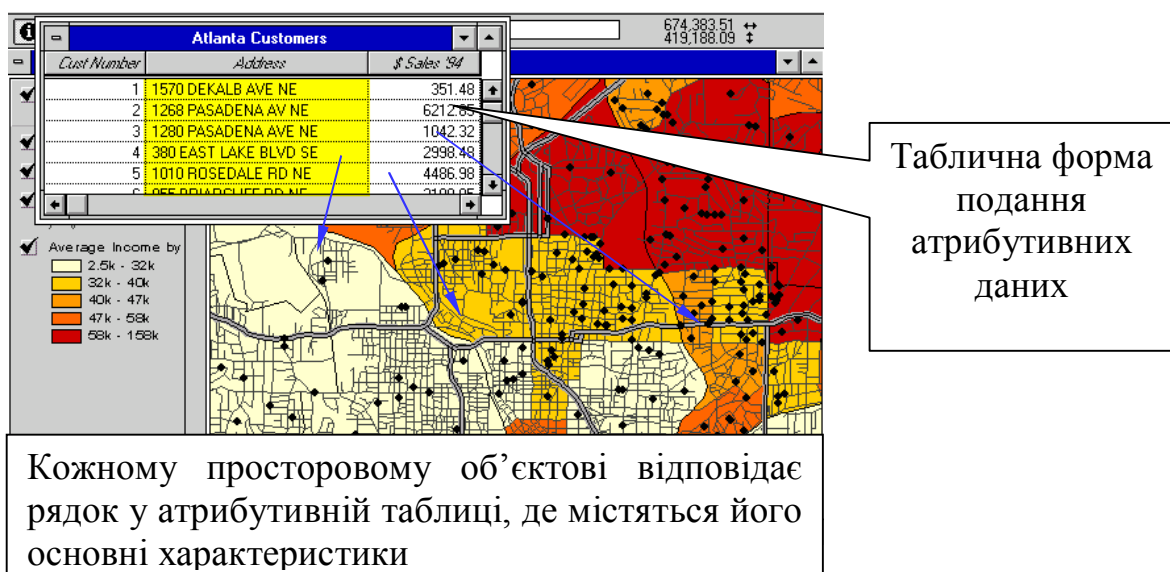


Рис. 5.9. Типи картографічної інформації

Атрибути, що відповідають тематичній формі даних і визначають різні ознаки об'єктів, також зберігаються в таблицях. Застосування атрибутів дозволяє здійснювати аналіз об'єктів бази даних із використанням стандартних операцій, що підвищують ефективність при тематичному картографуванні. Крім того, за допомогою атрибутів можна типізувати дані та впорядкувати опис для широкого набору некоординатних даних.

Таким чином, атрибутивний опис доповнює просторовий, разом із ним створює повний опис моделі ГІС і вирішує завдання типізації вихідних даних, спрощуючи таким чином процеси класифікації й обробки;

3) **топологічна інформація** описує взаємне розташування об'єктів відносно один одного.

5.2.3. Координатна та висотна системи картографічних джерел

Одним із найважливіших елементів карт, що впливають на точність подання об'єктів у просторі, є координатна й висотна системи. Вивчення планового (координати x і y) та висотного (координата H) місцеположення і часових взаємозв'язків точок, ліній і площин, досягається шляхом візуального аналізу однієї чи декількох тематичних карт, на яких зображені окремі елементи земної поверхні. Картографічна символіка дозволяє характеризувати різні просторові умови за допомогою ліній різної товщини, умовних знаків і пояснень.

Топографічні карти створюються в графічній, цифровій та електронній формах у єдиній системі координат і висот за уніфікованими та погодженими між собою умовними знаками та класифікаторами.

Для просторової прив'язки та копіювання даних при побудові багатьох картографічних баз даних, включаючи тематичні карти й цифрові моделі рельєфу, використовуються топографічні карти – загальногеографічні карти універсального призначення, що детально зображують місцевість.

Топографічна карта – загальногеографічна карта універсального призначення, місцевість, що детально відображається. У зміст карти входять такі елементи: опорні геодезичні пункти, господарські та культурні об'єкти, рельєф, гідрографія, рослинність, ґрунти, дороги, об'єкти зв'язку, межі й огорожі. За масштабами карти поділяють на три основні групи:

- *топографічний план* – масштаб 1:10 000 і більше;
- *топографічна карта* – масштаб 1:25 000 – 1:500 000;
- *географічна карта* – масштаб 1:1 000 000 і дрібніше.

Незалежно від методу створення та оновлення, цифрові топографічні карти повинні відповідати таким основним вимогам:

– забезпечувати можливість автоматизованого визначення даних про місце розташування об'єктів і їхні характеристики;

– включати цифрове значення кількісних та якісних характеристик і кодів об'єктів у прийнятій системі класифікації та кодування картографічної інформації;

– мати таку структуру подання інформації, яка б забезпечувала можливість внесення змін і доповнень, можливість її конвертації у топологічні або нетопологічні формати ГІС та виділення незалежних моделей визначених елементів змісту карт (гідрографії, населених пунктів, доріг і придорожніх споруд, рельєфу, рослинного покриву та ґрунтів).

Математичною основою топографічних карт є сукупність математичних елементів карти, що визначають математичний зв'язок між картою та поверхнею землі, яка на ній зображена. До математичних елементів топографічних карт належать:

- картографічна проекція;
- масштаб;
- координатні сітки;
- система розграфлення та елементи компонування.

Геодезичною основою топографічних карт усіх масштабів є:

– у *плановому відношенні* – пункти Державної геодезичної мережі, геодезичних мереж згущення і точки планової зйомочної мережі, плоскі прямокутні координати яких обчислені на площині в конформній проекції Гаусса-Крюгера в шестиградусних зонах у державній системі координат;

– у *висотному відношенні* – пункти та репери висотної геодезичної мережі, пункти державної геодезичної мережі та геодезичних мереж згущення, а також точки висотної зйомочної мережі, висоти яких приведені до прийнятого вихідного рівня у Балтійській системі висот.

Топографічні карти всіх масштабів створюються в рівнокутній поперечно-циліндричній проекції Гаусса (рис. 5.10), яка обчислюється за параметрами еліпсоїда Красовського в шестиградусних зонах.

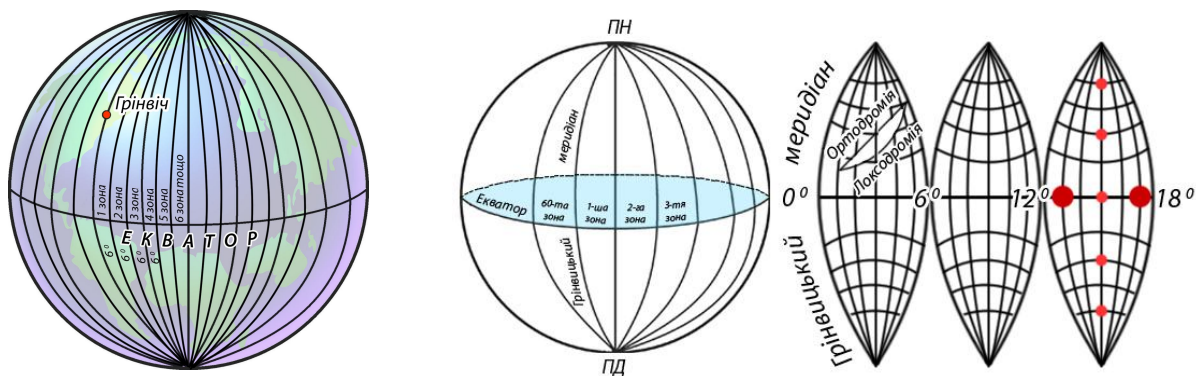


Рис. 5.10. Рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Гаусса

Сітка координатних ліній є невід'ємним атрибутом будь-якої географічної карти. Виділяють два види координатної сітки: *картографічну* та *сітку прямокутних координат*. Перша – це лінії меридіанів і паралелей, а друга утворена лініями, паралельними основним осям – ОХ і ОУ.

Початком плоских прямокутних координат проекції є перетин осевого меридіана зони (вісь X) та екватора (вісь Y).

На топографічних картах показуються *картографічна* (система B, L, H) та *прямокутна* (кілометрова) координатні сітки (рис. 5.11).

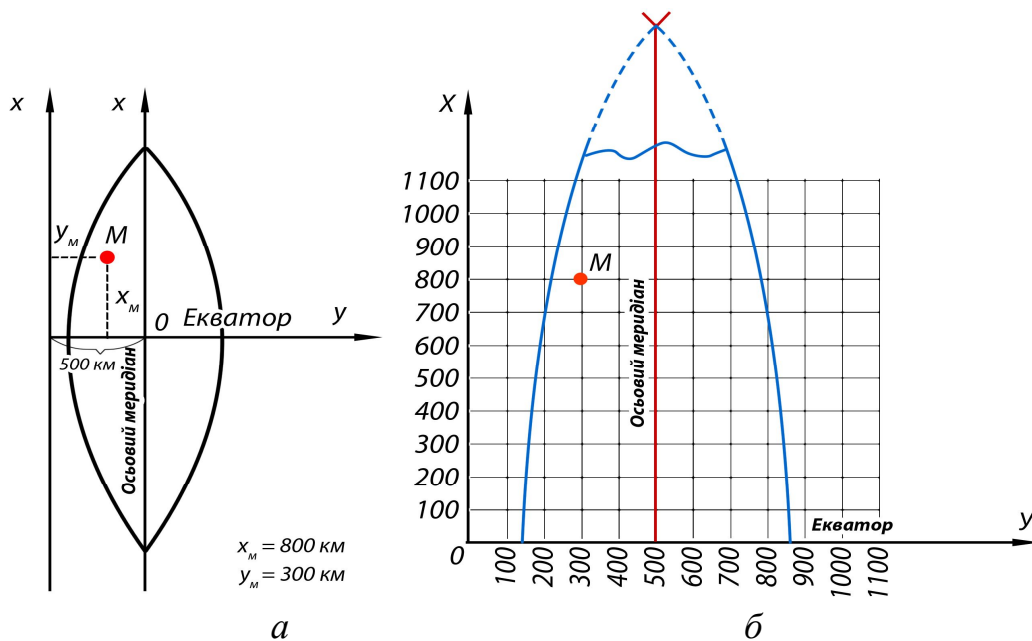


Рис. 5.11. Система прямокутних координат на топографічних картах: а – однієї зони; б – частини зони

Примітка. Для ГІС актуальною є проблема розробки коректної індексної карти України, областей районів і міст, яка зводиться до відповідного топографо-геодезичного забезпечення створення покриття на великі ділянки місцевості з врахуванням кривизни Землі.

Визначення площ великих ділянок місцевості – області, міста, району, сільської ради або великого господарства – може привести до значного спотворення, якщо не враховувати кривизну Землі.

Наприклад, якщо відстань від осевого меридіану зони Гаусса-Крюгера становить 200 км, то відносне спотворення площі складає 1/1000, а площу в 1000 га, отриману з плану або обраховану за прямокутними координатами у проекції Гаусса-Крюгера, треба зменшити на 1 га. Враховуючи те, що плани земельних ділянок для державних актів на право володіння або користування землею виробляються в прямокутних системах координат, необхідно розробити методику топографо-геодезичного забезпечення ведення земельного кадастру з урахуванням редуційної проблеми.

За діючою методикою складання планів кожної окремої земельної ділянки ґрунтується на лінійних і куткових вимірах, до яких не внесені поправки за редукування на поверхню відносності та на площину Гаусса-Крюгера. Разом з тим, при введенні баз даних автоматизованої системи державного земельного кадастру зі створенням земельно-кадастрового покриття на значні території, необхідне врахування кривизни Землі. Проблема може бути вирішена введенням двох систем координат: геодезичної системи координат B, L для введення баз даних автоматизованих систем земельного кадастру; локальної системи координат, похідної від системи координат Гаусса-Крюгера, або Гаусса-Боага (UTM), в яких мінімізовано спотворення лінійно-кутових вимірювань і площ ділянок, для топографо-геодезичних робіт.

5.2.4. Алгоритм застосування картографічних знань

Вихідні карти й плани на паперових (лавсанових, алюмінієвих та інших) носіях зазвичай неоднорідні всередині кожного аркуша, тобто різні об'єкти відображені на них із різною точністю, їхній стан зафіксований у різний час. Отже, просторові відношення між об'єктами на карті (плані) можуть бути зафіксовані неправильно або з похибками. Також внаслідок того, що іноді паперові карти мають погану якість (знос від тривалого використання, застарілі дані тощо), при цифруванні різних тематичних карт однієї й тієї ж території виникають проблеми, бо одні й ті ж об'єкти, зображені на різних картах, при накладанні не співпадають.

Алгоритм застосування картографічних знань при роботі з ГІС представлений на рис. 5.12.

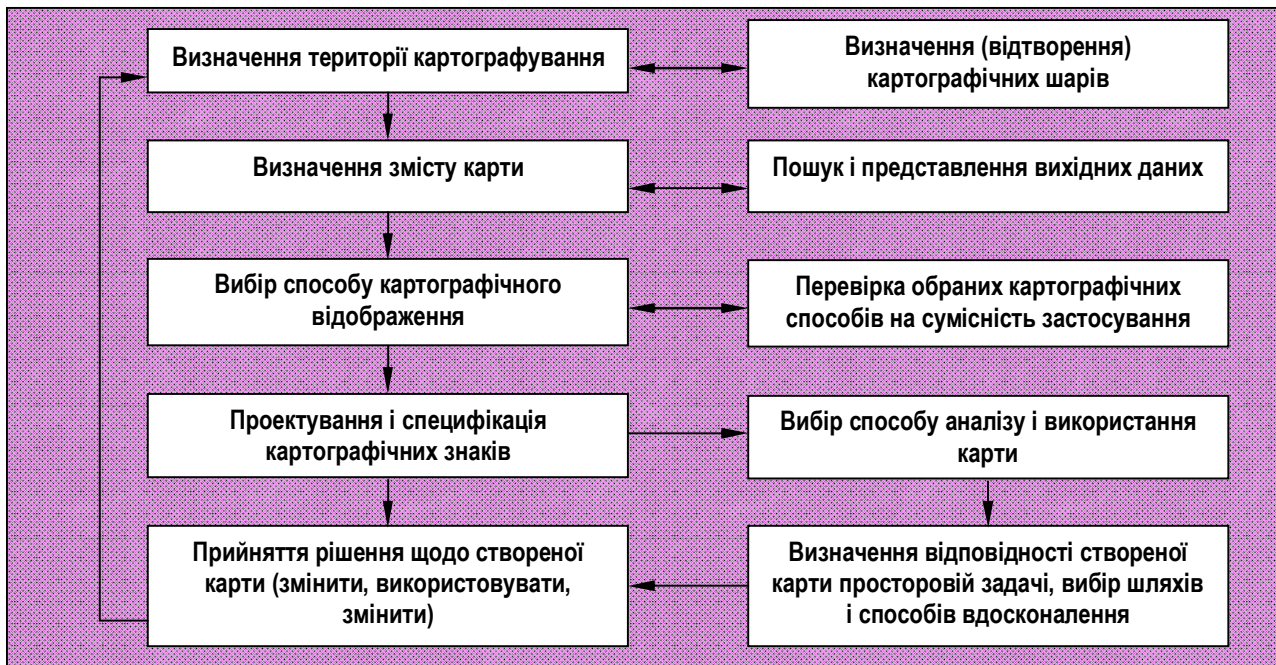


Рис. 5.12. Алгоритм застосування картографічних знань при роботі з ГІС

У багатьох випадках найбільш складною частиною постановки даних у ГІС є їх співвіднесення з місцем – геокодуванням.

Геокодування – прив'язка до карти об'єктів, розташування яких у просторі задається відомостями з таблиць баз даних.

Геокод може бути представлений:

- географічними або декартовими координатами об'єктів;
- адресами об'єктів (наприклад, при прив'язці даних паспортної служби або податкової інспекції);
- поштовими індексами (наприклад, у випадку аналізу діяльності поштових терористів);

- відстанню від початку лінійних маршрутів (наприклад, при прив'язці даних про аварії на нафтопроводах або аварійно-загрозливому наближенні рослинності до повітряних ліній електропередач). Функції геокодування дозволяють "прив'язати" бази даних, які створюють більшість установ, що обслуговують урбанізовані території та населення, яке на них мешкає, до карт території.

5.3. Дані дистанційних досліджень

Оскільки етап "первісного накопичення", який бере дані з фондів існуючих паперових карт досить швидко завершиться, то постає проблема оновлення й актуалізації карт у ГІС. Саме тому, одним із найважливіших джерел даних для ГІС стануть дані дистанційного зондування (ДДЗ).

Космічні й аерофотознімки як джерела даних із кожним роком все більше домінують над традиційними картами.

ДДЗ поєднують усі типи даних, отриманих з носіїв космічного (пілотовані орбітальні станції, кораблі багаторазового використання ("Шаттл", "Буран"), автономні супутникові знімальні системи) та авіаційного базування (літаки, гелікоптери, радіокеровані апарати) і складають значну частину дистанційних даних, на відміну від зніманих, отриманих в умовах фізичного контакту з об'єктами знімання.

До неконтактних (дистанційних) методів знімання, крім аерокосмічних, відносять різноманітні вимірювальні системи морського (надводного) та наземного базування, включаючи, наприклад, фототеодолітну зйомку, сейсмо-, електро-, магніторозвідку й інші методи геофізичного зондування надр, гідроакустичні знімання рельєфу морського дна за допомогою гідролокаторів бокового перегляду, інші способи, засновані на реєстрації власного або відбитого сигналу хвильової природи.

ДДЗ – дані про поверхню Землі або об'єкти, розташовані на ній, які були отримані у процесі знімань дистанційними методами.

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) базуються на реєстрації й подальшій інтерпретації відбитої сонячної радіації (електромагнітних хвиль) від поверхні ґрунту, рослинності, води та інших об'єктів, а також теплового випромінювання Землі (рис. 5.13). Будь-який об'єкт випромінює і відбиває електромагнітну енергію у відповідності з особливостями його природи. Саме такі відмінності в довжинах хвиль і інтенсивності випромінювання можуть бути використані для вивчення певного віддаленого об'єкта без безпосереднього контакту з ним.

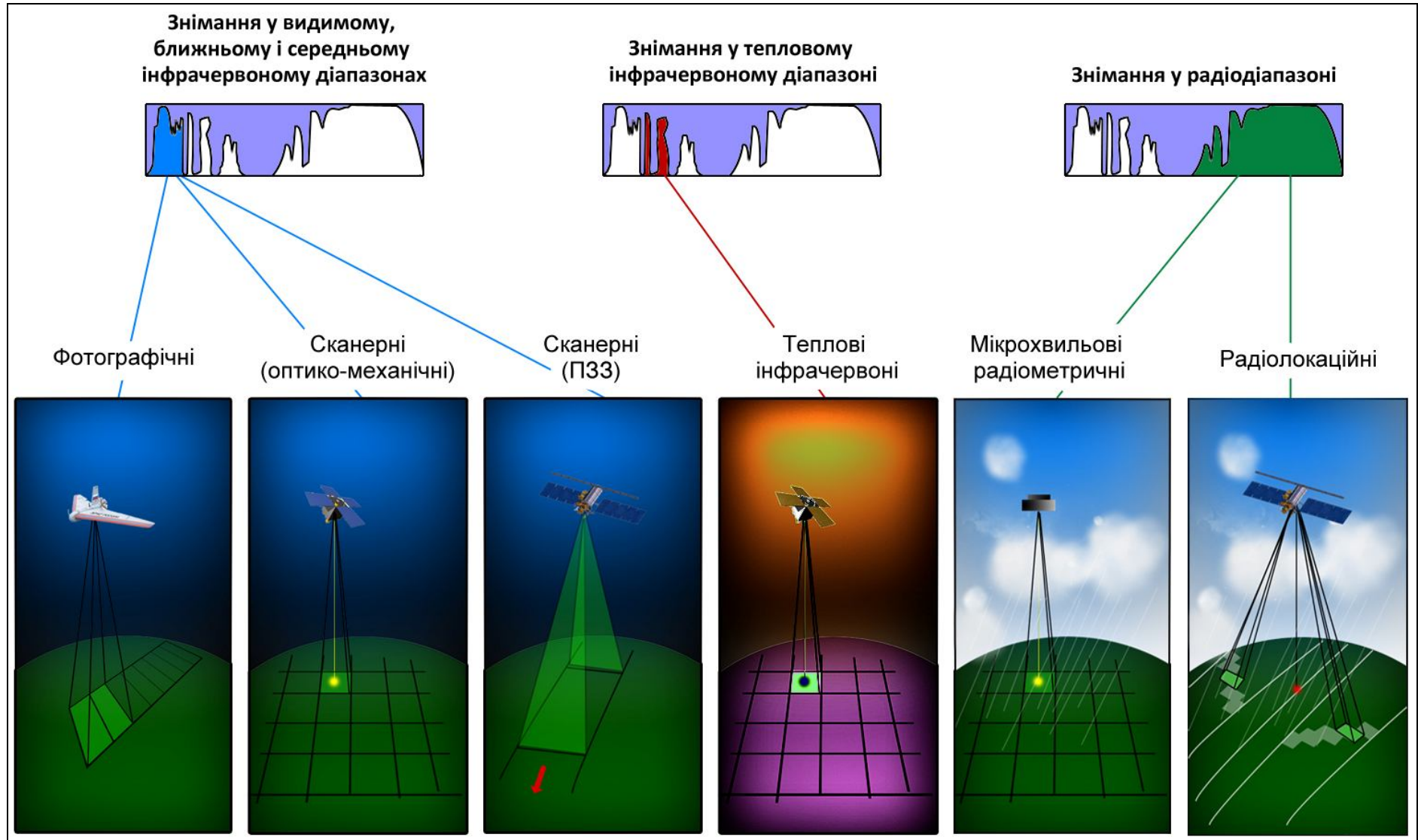


Рис. 5.13. Методи здійснення дистанційного зондування

Винесення пристроїв реєстрації в повітряний або навколоремний простір дозволяє більш широко охопити території порівняно з наземними методами досліджень.

Під дистанційним зондуванням розуміють дослідження неконтактним способом, різноманітні види знімань з літальних апаратів – атмосферних і космічних, у результаті яких утворюється зображення земної поверхні в певному діапазоні (діапазонах) електромагнітного спектра.

Знімки є істотно інформативнішими, чим побудована на їх основі карта, яка, по суті, є "редукованою" версією (моделлю) вихідного матеріалу. Космічний знімок місцевості та карта співвідносяться один з одним, як фотопортрет з ескізом, виконаним за допомогою олівця.

Знімки значно швидше "зчитуються" непідготовленим користувачем, ніж карти. При цьому вони містять цінну інформацію не тільки про статичні об'єкти на місцевості, але й динамічні характеристики, наприклад, як напруженість і характер руху транспорту на автомагістралях.

Знімки надзвичайно корисні для використання в системах оперативного управління й реагування, при ліквідації наслідків розгулу стихій і техногенних катастроф, у військовій справі та логістиці. Сучасні системи ДЗЗ дозволяють отримувати не тільки чорно-білі (панхроматичні) зображення, але й багатоканальні знімки, що містять роздільні зображення на різних ділянках спектра, в тому числі й невидимих простим оком.

Види знімань. Розрізняють аеро- та космічні знімання. Але якщо їх детально проаналізувати, то з точки зору кінцевого користувача, принципової різниці між ними не існує. Так, це дійсно знімання з різних літальних апаратів і з різних висот. Уявлення про різкі відмінності космічних і аерознімань народилось тоді, коли вперше з'явилися доступні знімки з космосу. Вони були дрібномасштабними, охоплювали одним кадром цілі регіони (що дійсно неможливо було виконати за допомогою аерознімання), часто були багатозональними (що на той час було малозвично, хоча й можливо для аерознімання), нарешті, саме через космічні знімки систем LANDSAT TM і LANDSAT MSS широкі кола фахівців уперше познайомилися з цифровими ("сканерними") знімками. Для прикладу на рис. 5.14 представлено зображення території Києва, отримане за допомогою американського супутника Landsat.

Основна відмінність між аеро- й космічними зніманнями полягає у висоті, з якої відбувається знімання, що впливає на масштаб отриманого зображення. Це призводить до відмінностей у розрізненості і в площині, що покривається одним кадром: на аерознімках, можна побачити об'єкти розміром в одиниці сантиметрів, для космічних знімків розрізнення лінійних об'єктів довжиною 0,51 – дуже добрий показник. Зате площі, які покриваються одним кадром космічного знімку, можуть бути

надзвичайно великими: тисячі, десятки тисяч квадратних кілометрів і навіть більше.

Дрібномасштабні знімання дозволяють охоплювати цілі регіони і виявляти такі узагальнені особливості, які при спробі відтворення їх за дрібними фрагментами дослідити неможливо.

Аерознімання (рис. 5.15) можуть здійснюватися майже з будь-яких висот польоту в межах можливостей літального апарата.



Рис. 5.14. Знімок м. Києва, отриманий за допомогою американського супутника Landsat

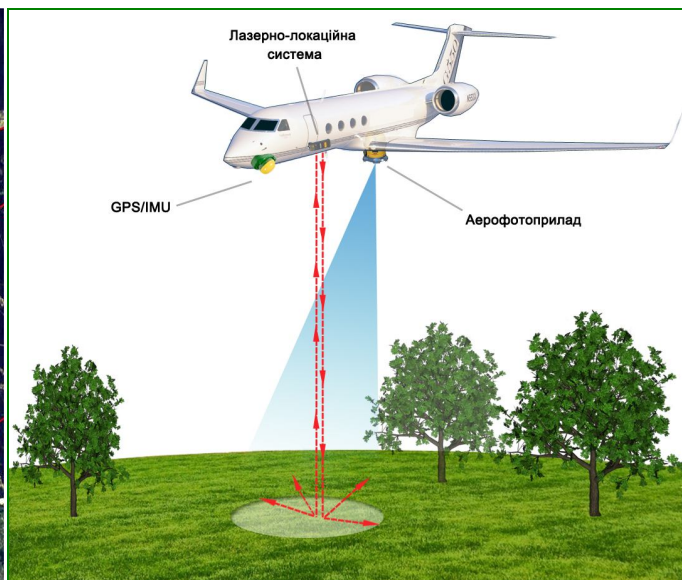


Рис. 5.15. Аерофотознімання

Космічні знімання здійснюють із висоти понад 100 км. Зазвичай, типові масштаби зображень, отримувані під час аерознімання – 1:5 000–1:60 000, а для космічних знімків у різних випадках – це 1:20000 і дрібніші.

Останнім часом матеріали космічних знімків стали більш доступними для різних користувачів і, як правило, ці матеріали дешевші, ніж матеріали аерознімків, хоча мають при цьому задовільну якість.

Нині вони перетворились у новий інструмент досліджень, який швидко розвивається й удосконалюється.

Крім того, основний об'єм космічних знімків – це знімки зі штучних супутників Землі, а не з пілотованих апаратів.

Системи збору ДЗ. У сучасному ДЗЗ можна розрізнити дві основні системи збору й перетворення вихідних даних для ГІС:

- аналогову;
- цифрову.

До аналогових належать традиційні фотограмметричні методи отримання зображень, які потребують подальшої обробки для перетворення у цифрову форму. Системи з телевізійною реєстрацією хоча й існують, але їх частка, за винятком деяких спеціальних випадків, є незначною.

У фотографічних системах все відбувається приблизно так, як і у звичайному фотоапараті: зображення фіксується на плівку, яка після приземлення літального апарату або спускної капсули проявляється і сканується для використання в комп'ютерних технологіях.

До цифрових належать дані, які отримують від сканерів у керуючому режимі та в реальному масштабі часу і які реєструються на магнітних носіях у цифровому вигляді. Зображення формується лінійно розташованим набором світлочутливих елементів і системою розгорнення (найчастіше оптико-механічною). Крім того, все більшого поширення отримують системи з плоскими двомірними матрицями світлочутливих елементів. І хоча в останньому випадку ніякого реального розгортання зображення як у сканері не відбувається, такі цифрові системи за традицією також називають сканерами.

Використання цифрових даних більш доцільне, тому що потребує менше витрат на обробку, оскільки дані надходять значно оперативніше (результати космічних знімків надходять на Землю по радіоканалу, тому не треба чекати, поки апарат витратить увесь запас плівки, і на Землю буде скинута капсула, плівка в ній буде проявлена та відсканована).

Використання дистанційних методів дозволяє застосовувати стереопари (два сусідніх знімки, які зображують ділянку місцевості в смузі поздовжнього чи поперечного перекриття) для побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР).

Результат знімання, тобто отримане зображення, характеризується:

- спектральними діапазонами, які фіксує система (число й градації цих діапазонів);
- геометричними особливостями отриманого зображення (вид проєкції, розподіл викривлень);
- радіометричною розрізненістю, тобто кількістю градацій яскравості, які фіксуються системою;
- часовою розрізненістю, тобто мінімальним проміжком часу, через який проводиться повторне проведення знімання.

Наземна обробка ДЗЗ. Обробка даних призначена для видалення систематичних радіометричних і геометричних похибок і покращення якості зображень.

Схема обробки даних ДЗЗ представлена на рис. 5.16.

Схема обробки даних ДЗЗ

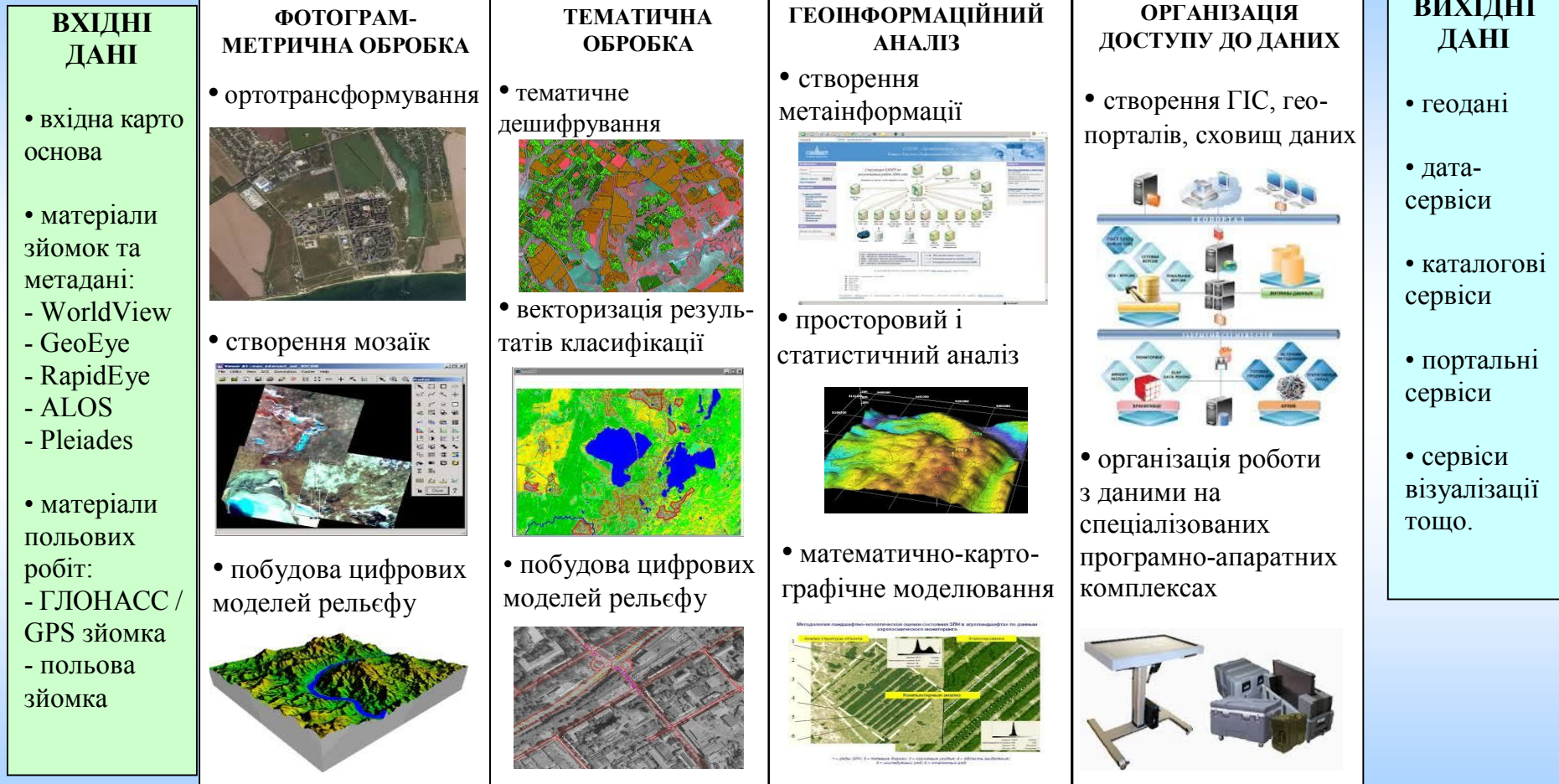
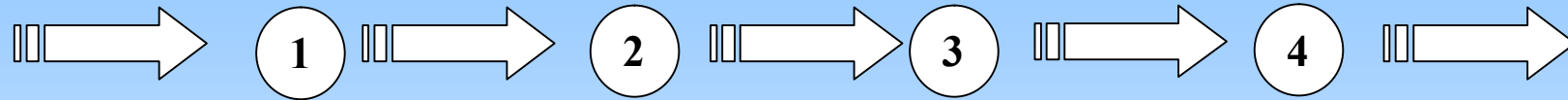


Рис. 5.16. Схема обробки даних ДЗЗ

На сучасному етапі розвитку систем ДЗЗ успішно використовуються декілька комерційних систем дистанційного зондування, дані яких активно поширюються і в Україні. Сьогодні Україна забезпечена даними ДЗЗ, отриманими з космічних апаратів NOAA, "Meteosat", "Метеор-3М", "Terra", а також знімками з комерційних космічних апаратів LANDSAT, IRS, "Ikonos", "QuickBird", SPOT, "Ресурс" та інших.

Стрімке зростання популярності космічних знімків не означає, що епоха карт назавжди йде в минуле. Вони вдало доповнюють один одного. "Картою" майбутнього стане продукт, що поєднує в собі космічні й аерознімки, побудовані на їх основі тематичні шари, а також модель рельєфу, яка дозволяє перетворити карту на тривимірний образ місцевості.

Характеристики зображень. Характеристики отриманих зображень залежать від багатьох природних і технічних факторів.

До природних факторів належать: сезон знімання, освітленість поверхні знімання, стан атмосфери тощо. До технічних – тип літального апарата, орієнтація оптичної осі знімального апарата, метод отримання зображення, тип датчика, метод управління процесом знімання. Знімання здійснюються спеціальними датчиками (сенсорами). Датчики можуть бути *активними* та *пасивними*.

Супутники (рис. 5.17) оглядають (сканують) Землю з космосу, використовуючи різноманітні датчики та камери.

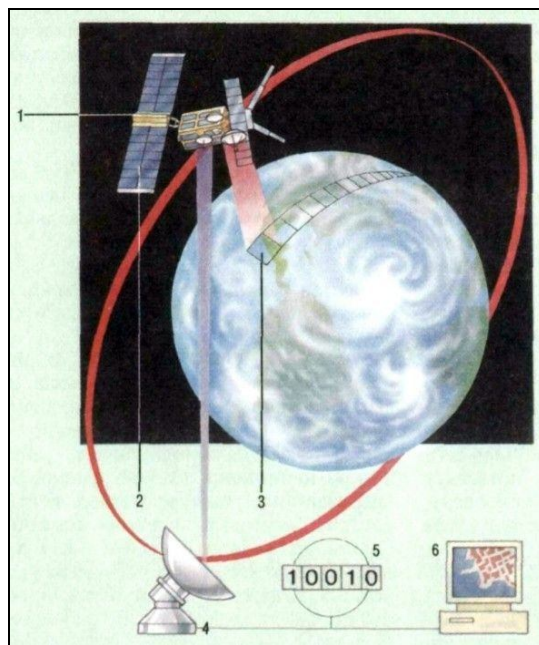


Рис. 5.17. Схема отримання зображення з космосу

Ці прилади поділяються на *активні* та *пасивні*. Пасивні пристрої збирають відбите або природне випромінювання (світло або теплоту), а активні – випромінюють необхідний сигнал і фіксують його відбиття від

об'єкта (3). Однією з переваг активного сканування є здатність "бачити" крізь хмари.

До пасивних датчиків відносять оптичні та скануючі пристрої, що працюють у діапазоні відбитого сонячного випромінювання, включаючи ультрафіолетовий, видимий і ближній інфрачервоний діапазони. До активних датчиків відносять радарні пристрої, лазерні сканери, мікрохвильові радіометри тощо.

Результати сканування поверхні Землі посилаються на наземні станції (4) в цифровому вигляді (5), і потім перетворюються комп'ютерами в зображення (6). При дистанційному зондуванні значний вплив на якість і застосовність отримуваних даних здійснюють:

- *просторова розрізненність на місцевості* (мінімальний розмір об'єкта, який можна розрізнити) – у різних космічних системах знімання розрізненність коливається від декількох кілометрів до десятків сантиметрів;
- *спектральний діапазон знімання* – кількість і межі цих діапазонів (рис. 5.18).

Оптичний (видимий) діапазон (рис. 5.18) – незначна частка електромагнітного спектра. Більш короткі довжини хвиль – ультрафіолетова область – порівняно мало використовуються в ДЗЗ через дуже сильне поглинання в атмосфері.

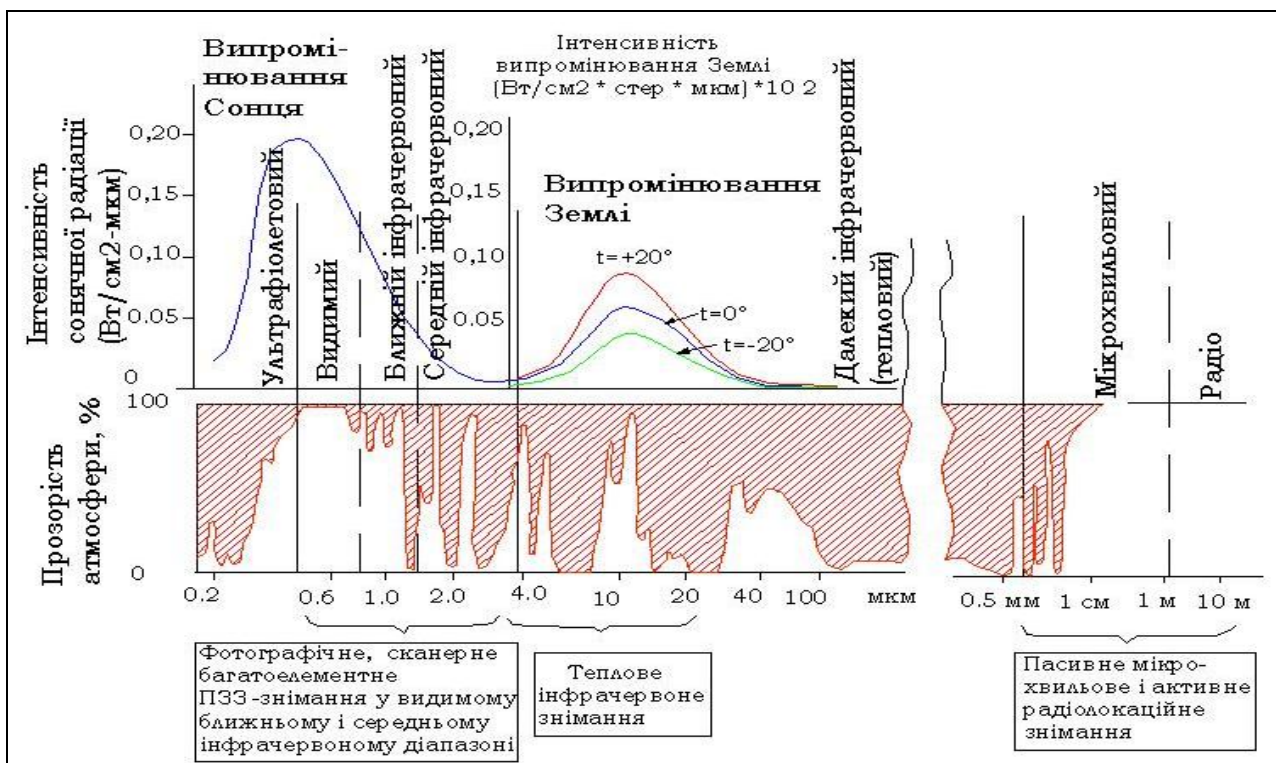


Рис. 5.18. Випромінювання Сонця і Землі, "вікна прозорості" атмосфери й основні знімальні діапазони, використовувані в ДЗЗ

Надзвичайно інформативними можливостями володіє інфрачервона область, що займає діапазон від 700 до 15000 нм, саме тому вона досить широко використовується у ДЗЗ. Зображення, отримані в цьому діапазоні, містять докладну інформацію, яка характеризує склад і характер об'єктів. За їх допомогою стало можливим швидко і точно будувати карти розподілу щільності зеленої біомаси, визначати характеристики гірських порід і ґрунту.

З появою на ринку космічних знімків високої розрізненності, виконаних апаратами Iconos, QuickBird, OrbView (США), EROS (Ізраїль), SPOT (Франція), IRS і CartoSat (Індія), Radarsat (Канада), в науці про Землю почалася нова епоха. Незвичний ракурс, під яким зроблені космічні знімки, – в зоні зеніту, перпендикулярно до поверхні Землі, – вдало доповнюють звичний ракурс, під яким люди сприймають оточуючу місцевість. За їх допомогою можливо побачити знайомі території в геометрично більш достовірному світлі і, відповідно, у новій якості.

Дуже інформативними є радіолокаційні знімки. Дані, отримані з радара, ще не зображення, його треба перетворювати за допомогою складної обробки, специфічної для кожного радара. Радар – це особливе джерело даних. На відміну від інших, радар – активний сенсор. Він сам "висвітлює" знімальну ділянку, тому час доби для радарних знімків не є істотним.

Фіксація випромінювання може виконуватись як з використанням традиційних плівкових фотографічних матеріалів, так і електронних фоточутливих елементів – сканерів – приладів із зарядовим зв'язком. На основі таких елементів створюються електронні пристрої сканування, що можуть встановлюватись на різних космічних апаратах, призначених для знімання атмосфери, океану й поверхні суші. При встановленні радіолокаційних систем такі супутники можуть визначати висоту та довжину хвиль, рівень водної поверхні, розливи нафтопродуктів на поверхні води тощо. Ці прилади дозволяють реєструвати різні діапазони хвиль відбитої сонячної радіації як у видимій, так і в ультрафіолетовій та інфрачервоній спектральних зонах.

Багатозональні знімання у фотографічному варіанті мають багато недоліків, які найбільш відчутно проявилися в останні роки, коли основними засобами для роботи зі знімками стали комп'ютерні системи. Головним із них є недостатня оперативність. Саме тому більш цікавими та перспективними є цифрові системи LANDSAT TM, SPOT, NOAA.

Технології сканерного (цифрового) знімання представлені на рис. 5.19.

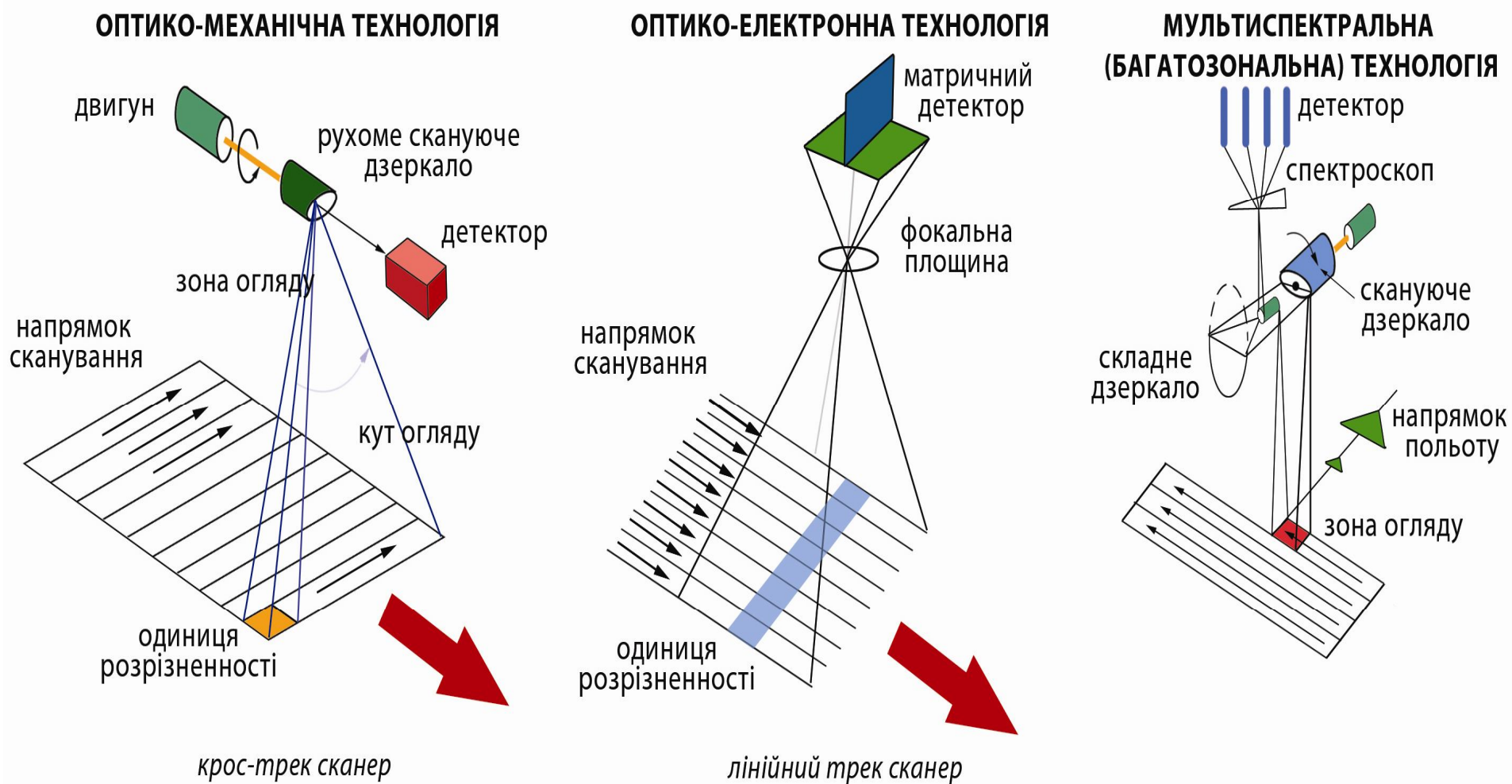


Рис. 5.19. Технології сканерного знімання

За допомогою природоресурсних супутників ведуться спостереження за кольором і щільністю рослинного покриву, кольором і текстурою ґрунтів, кольором води, температурою земної поверхні. З космосу здійснюється високоточне знімання для топографічного картографування, радіолокаційне знімання рельєфу та вологості поверхневого шару ґрунту. Знімання ведеться безупинно, незалежно від хмарного покриву, згідно з маршрутом прольоту супутника, а дані постійно передаються на наземні станції.

Випромінювання реального об'єкта, як відомо з курсу фізики і оптики, має спектр. Це означає, що в різних спектральних діапазонах (або зонах) інтенсивність відбитого випромінювання буде різною.

В залежності від кількості спектральних зон, що одночасно використовуються при зніманні, знімки можуть бути:

– *панхроматичними* – однозональні зображення, отримані у видимому діапазоні спектра;

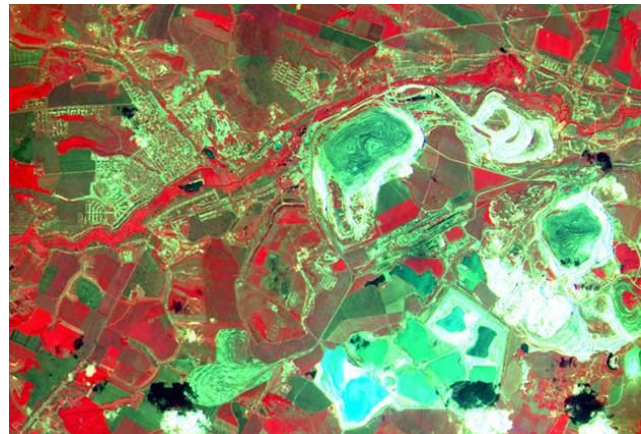
– *багатозональними* – набір спектральних каналів у одному файлі.

Найбільш інформативними для вирішення більшості практичних задач є багатозональні зображення. Знімки, отримані в реальних кольорах, називаються кольоровими.

Знімки у видимому діапазоні схожі на ті види, які можна спостерігати, наприклад, пролітаючи над певною територією. Однак можна й змінювати кольори різних спектральних каналів (виконувати різні синтези), для того, щоб краще розрізнити необхідні об'єкти (рис. 5.20 а і 5.20 б).



а



б

Рис. 5.20. Синтезовані знімки

Багатозональні зображення при синтезі не завжди відтворюють реальні кольори, оскільки спектральні канали не завжди відповідають довжинам хвиль, які входять у кольорову гаму.

При необхідності відстеження об'єктів, що мають різкий контраст із навколишнім середовищем в одному вузькому діапазоні спектра, можна

використовувати зображення, які отримуються в окремому (потрібному) спектральному інтервалі. Такі зображення називаються *спектральними*.

До переваг космічних знімків можна віднести:

- просторову точність;
- радіометричну точність;
- просторове охоплення;
- оперативність і повторюваність знімання;
- вартість даних.

У галузі ДЗЗ намітилася тенденція до комбінованого використання різноманітних багатоканальних, гіперспектральних багатоцільових датчиків із високою розрізненістю, яка працює за будь-яких погодних умов.

Крім того, з'явилася можливість прямого отримання ДЗЗ на власні приймальні станції користувача. Хоча ці знімки порівняно низької розрізненості, вони дозволяють додати, наприклад, до регіональної ГІС шар оперативної інформації.

Для успішного використання ДДЗ з метою тематичного дешифрування розроблена логічно обґрунтована послідовність комп'ютерних перетворень зображень, яка включає:

- геометричну корекцію (прив'язку зображень до топооснови);
- корекцію яскравості (усунення шумів і вияв усіх діапазонів яскравості);
- тематичну обробку (класифікації, фільтрації, арифметичні та логічні операції тощо);
- експертну оцінку результатів автоматизованого дешифрування в ГІС.

Найважливішими характеристиками дистанційного зондування є *розрізненість*.

Розрізненість – це загальний термін, що використовується для опису кількості пікселів, які можуть бути одночасно переглянуті на дисплеї, або ділянка на землі, якій відповідає піксель на зображенні. В більш вузькому значенні в дистанційному зондуванні використовують чотири типи розрізнення:

- *спектральне* – під ним розуміють кількість діапазонів електромагнітного спектра випромінювання та ширину зон знімання, що реєструється знімальною апаратурою космічної системи;
- *просторове* – ділянка на поверхні Землі, якій відповідає кожний піксель на зображенні (масштаб зображення);
- *радіометричне* – кількість напівтонів сірого тону на зображенні, тобто кількість можливих значень даних файла в кожному спектральному каналі (оцінюється кількістю бітів у кожному записі);
- *часове* – максимальна частота одержання зображення на одну й ту ж територію даним типом сенсорів.

5.4. Дані польових вишукувань (геодезичні й топографічні дані)

У процесі геодезичних вимірів (рис. 5.21) початкова (вхідна) інформація для ГІС утворюється або у цифровому вигляді (секунди, міліметри), або в аналоговому (топологічні плани, профілі).

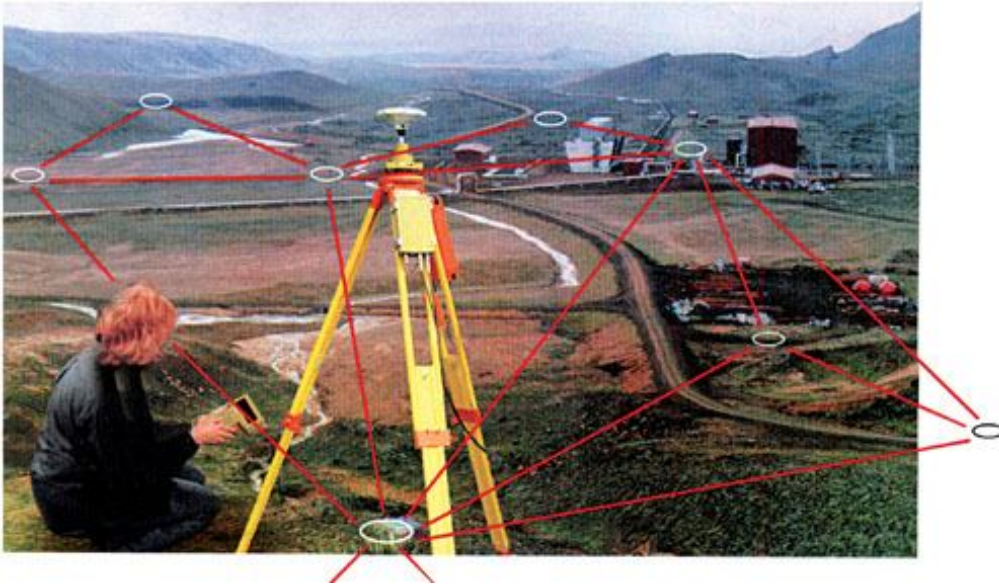


Рис. 5.21. Геодезичне знімання місцевості

Однак після камеральної обробки аналогові дані також перетворюються в цифровий вид. Ці результати можуть бути представлені з тією або іншою детальністю і точністю.

Використання GPS й електронних тахеометрів дозволяє отримувати високоточні просторово-координатні дані вимірювань у цифровій формі та використовувати їх безпосередньо в геоінформаційному середовищі, оминаючи проміжні матеріали у вигляді картографічних матеріалів на паперовій основі.

Зберігання матеріалів безпосередньо у цифровій формі усуває проблему створення проміжних паперових карт.

Досвід свідчить, що використання зазначених приладів при досить великих обсягах робіт дозволяє суттєво знизити вартість знімань порівняно з традиційними технологіями у 3–4 рази. Істотним також є збільшення швидкості проведення знімань (у 3–5 разів).

За традиційного знімання роботи над територією великого міста можуть тривати від 5 до 10 років, у результаті чого актуальність проведених вимірів суттєво зменшиться. Збільшення швидкості знімань із завершенням їх протягом 1–2 років дозволяє отримувати більш однорідний цифровий картографічний матеріал, незважаючи на високу вартість обладнання, та отримувати значну економію коштів.

Крім того, забезпечуються високоякісні дані про місця розташування меж володінь, угідь, будівель, розташування доріг, рік тощо, отриманих у ході польових вишукувань і знімань або імпортуванням з даних інших систем.

Дані з електронних геодезичних приладів – це файл із координатами й ідентифікаторами точок знімання.

У таких файлах також може міститися інформація про проведені виміри – вертикальні та горизонтальні кути, відстані. Файли даних можуть створюватися у спеціальних фірмових форматах або у звичайному текстовому форматі ASCII. Спеціальні програмні пакети для обробки даних геодезичних вимірів або модулі координатної геометрії інструментальних пакетів ГІС (пакет "Інвент-Град" (Україна), програмні пакети "CREDO" компанії "Кредо Діалог" (Білорусь), розширення Survey Analyst, сімейства пакетів ArcGIS компанії ESRI (США) тощо) зчитують такі дані за допомогою спеціальних конверторів.

Для інженерно-геодезичної інформації характерним є те, що кількісні дані про положення однієї точки або лінії фактично не містять корисної інформації. Ці дані потрібно співвідносити з іншим об'єктом або точкою (лінією).

Джерела інженерно-геодезичної інформації можуть бути пасивними (наприклад, рельєф місцевості або певна ситуація, що склалась на якось полігоні) й активними (наприклад, при світлодалекомірних вимірах відстаней).

Однією з найважливіших характеристик геодезичної інформації є можливість отримання єдиних оцінок різнорідних даних. Крім того, вона дозволяє узгоджувати потоки інформації в різних каналах.

Геодезична інформація завжди пов'язана з якісними характеристиками вимірюваних об'єктів, що, у свою чергу, є одним із критеріїв точності вимірів. Наприклад, в інженерній геодезії кінцевим критерієм цінності інженерно-геодезичної інформації може слугувати надійність нормальної експлуатації будівельних конструкцій.

Інженерно-геодезичну інформацію умовно можна розділити на *оглядову* й *об'єктну*, пов'язану з конкретним об'єктом виміру.

Оглядова інформація дозволяє оцінити місцевість з точки зору можливості прокладення ходів, обходу перешкод, видимості між пунктами тощо. Таку інформацію отримують або з карти, або в процесі рекогносцирування на місцевості та відносять до змістовної (семантичної).

Для уточнення окремих суперечливих положень використовуються результати вимірів із карти або використовуються найпростіші прилади.

Точність таких вимірів є невисокою, але цілком достатньою для даного виду робіт. Хоча й існують нормативи на виконання підготовчих і рекогносцирувальних робіт, однак із позиції теорії інформації, оглядова інформація кількісними величинами не оцінюється.

Об'єктну інформацію (інформацію про розташування об'єктів або їх складових на місцевості) отримують у процесі вимірів кутів, ліній і перевищень за допомогою геодезичних приладів.

Значення відліків можна асоціювати з первинним значенням сигналу в теорії інформації. З прагматичної точки зору, змістовного навантаження ці повідомлення не мають. Подальші елементарні обчислення, наприклад, знаходження різниці відліків, призводять до отримання первинної інформації першого роду – значень кутів, відстаней тощо. Обчислення при цьому необхідні і в тому випадку, якщо відбувається відлік з чорного боку рейки або рулетки, нуль якої прикладений до вихідної точки (площини). У цьому випадку необхідно використовувати для обчислень або горизонт інструмента (в першому випадку), або отримати різницю "відлік – мінус нуль" (у другому).

При вимірюванні відстаней приладами з цифровою індикацією, наприклад, тахеометрами або світловіддалемірами, відразу отримують значення вимірюваних величин. Тому залежно від приладів, які використовуються, первинною інформацією може бути *відлік, величина кута, відстані або перевищення*.

В інженерній геодезії виділяють інформацію, яка вимірюється і яка обчислюється. Кількість інформації, що вимірюється, значно поступається інформації, що обчислюється. Однак цінність її істотно більша (особливо при розбивальних роботах). Для отримання обчислювальної інформації залучається додаткова інформація, що збільшує довжину (об'єм) повідомлення.

5.5. Дані кадастрів

Документація землеустрою – це затверджені в установленому порядку текстові та графічні матеріали, якими регулюється використання й охорона земель державної, комунальної та приватної власності, а також матеріали обстеження і розвідки землі, авторського нагляду за виконанням проектів тощо.

Документація землеустрою розробляється у вигляді програми, схеми, проектів, спеціальної тематичної карти, атласів, технічної документації.

До технічної документації відносяться кадастрові плани, індексні карти.

Індексна кадастрова карта – це картографічний документ, що відображає місцезнаходження, межі та нумерацію кадастрових зон і кварталів та використовується для присвоєння кадастрових номерів земельним ділянкам і ведення кадастрової карти.

Кадастрові плани містять границі земельних ділянок (нерухомої власності), що не відображені на топографічних планах (рис. 5.22).

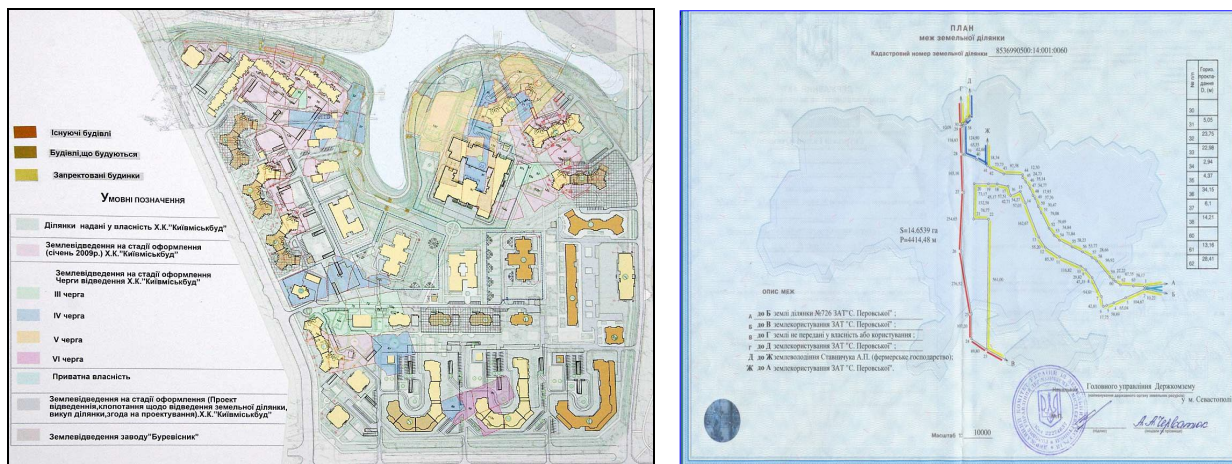


Рис. 5.22. Приклади кадастрових планів

Ідентифікація земельних ділянок виконується шляхом присвоєння кадастрових кодів (номерів).

Для унікальної ідентифікації земельних ділянок створюються індексні карти (рис. 5.23).

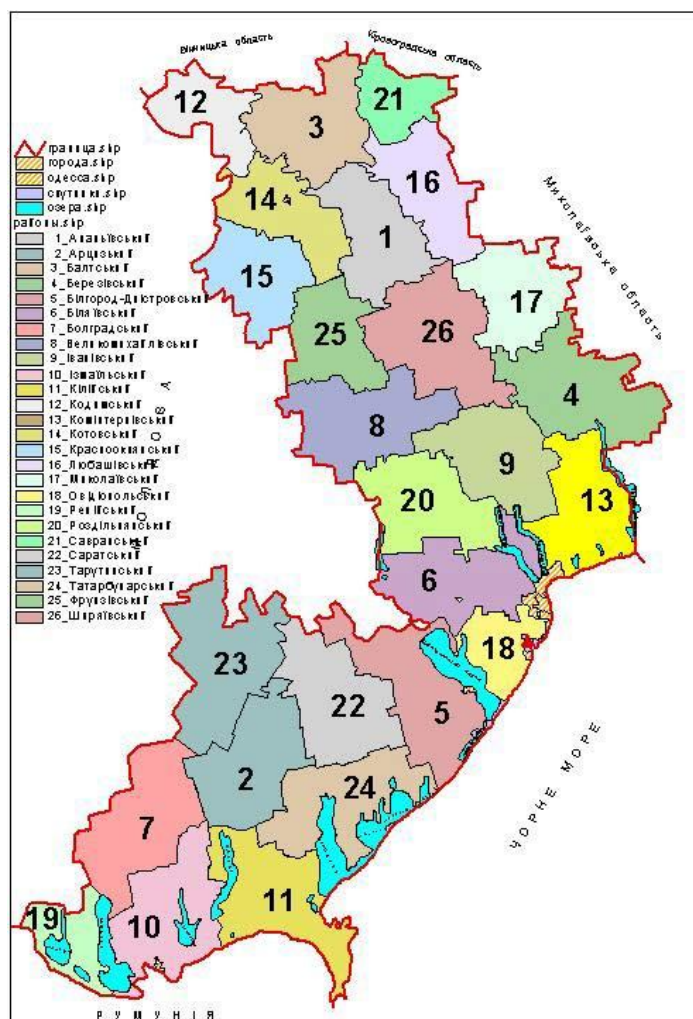


Рис. 5.23. Приклад індексної карти (Одеська область)

Управління використанням землі здійснюється системою, яка називається *зонінгом*. Основу зонінгу складають зонінгові карти (рис. 5.24) та зонінгові правила.

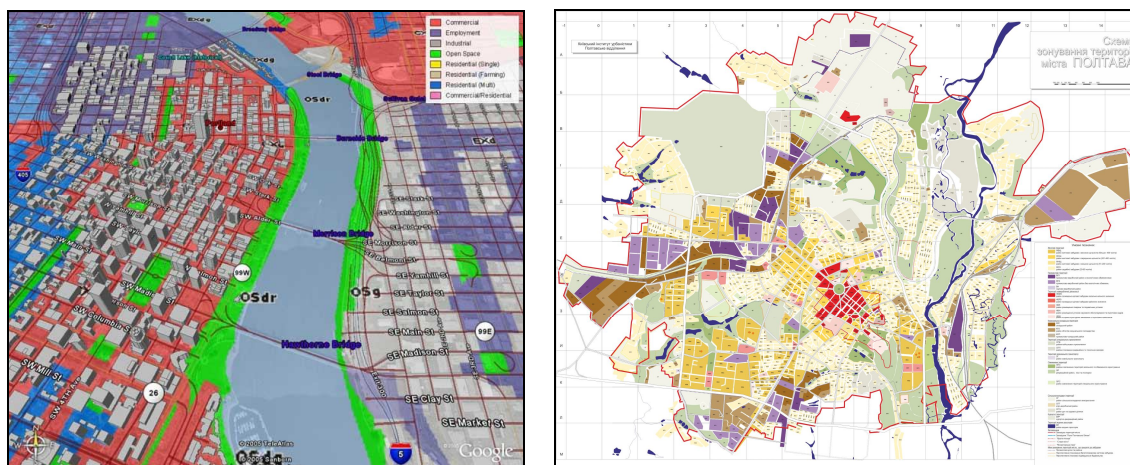


Рис. 5.24. Приклади зонінгових карт

Містобудівна документація – це затверджені текстові та графічні матеріали, якими регулюється планування, забудова та інше містобудівне використання території.

Документація обов’язково складається з текстових і графічних матеріалів (рис. 5.25).

В основу управління містобудівним розвитком території покладений ієрархічний підхід, який передбачає розробку в певній послідовності містобудівної документації на загальнодержавному, регіональному та місцевому рівнях.

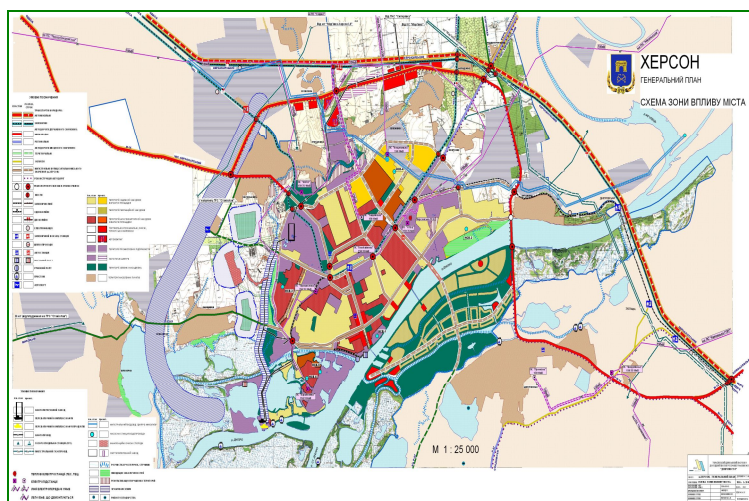


Рис. 5.25. Приклад містобудівної документації

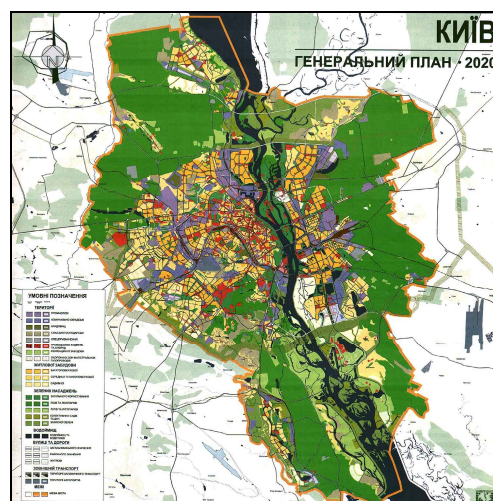


Рис. 5.26. Приклад генерального плану (м. Київ)

Загальнодержавний рівень містобудівної документації включає розробку Генеральної схеми планування території України, головними

завданнями якої є визначення стратегії територіального розвитку нашої держави та її окремих регіонів.

Регіональний рівень містобудівної документації вирішує питання територіального розвитку окремих регіонів України, використовує схеми планування окремої частини території України, області та адміністративних регіонів.

Місцевий рівень містобудівної документації повинен ґрунтуватися на рішеннях регіонального рівня. На місцевому рівні створюються генеральні плани конкретних населених пунктів (рис. 5.26), схеми планування території сільрад, детальні плани забудови.

5.6. Статистичні джерела даних

Важливим джерелом даних, передусім атрибутивних, є різні статистичні матеріали. В Україні статистика досить добре розвинена та має розгалужену інфраструктуру державних управлінь зі статистики, до яких усі підприємства, юридичні особи, які працюють на території країни, повинні подавати статистичну звітність щодо діяльності своїх підприємств. Крім того, статистичні управління займаються збором і узагальненням іншої різноманітної інформації (чисельність населення, демографічна ситуація тощо).

Раніше дані зберігались у вигляді паперових документів, які необхідно було спочатку опрацювати (перевести в електронний вигляд) для використання в ГІС, зараз ситуація покращилася. Статистичні дані зберігаються в БД (в основному, найбільш поширеному форматі.dbf), і тому без попередньої обробки придатні для подальшого використання в ГІС. Особливий інтерес статистичні дані викликають у зв'язку з тим, що вони періодично збираються протягом тривалого часу і можуть слугувати джерелом для визначення динаміки процесів.

Крім структури державного статистичного управління, збором і обробкою статистичних даних займаються різні організації: галузеві, маркетингові, опитування громадської думки тощо. В залежності від предметної галузі використання ГІС і завдань, які ставляться перед нею, можна визначити перелік таких організацій.

Також джерелом атрибутивних даних для ГІС можуть бути стандартні звітні форми різних державних, комерційних і громадських організацій, наукові звіти та публікації, дані спостережень на гідрометеорологічних станціях тощо. Велика частина таких документів створюється і подається в цифровому вигляді, у форматах програмних пакетів обробки документів MS Word, MS Excel, MS Access, тому до складу більшості пакетів ГІС, які працюють із реляційними таблицями, для збереження атрибутивних даних входять спеціальні модулі імпорту й експорту даних із форматів MS Excel і MS Access.

5.7. Internet як джерело даних для ГІС

За останні роки комп'ютерні та разом із ними геоінформаційні технології значно просунулись у своєму розвитку: від локальних станцій, які працюють із картографічною довідковою інформацією, до найскладніших проектів, що включають передачу й обробку величезних масивів інформації, доступ і роботу з даними з будь-якої точки земної кулі. Мережа Internet цікава для ГІС як джерела даних (як просторових, так і атрибутивних). Робота в мережі зручна для будь-якого користувача, а відстані на земній поверхні не є перешкодою для отримання даних. Користувач може й не знати, з якої точки земної кулі надходить та чи інша інформація.

Раніше застосування Internet у ГІС було обмежене невисокою швидкістю передачі інформації. Зараз із появою високошвидкісних засобів телекомунікацій ця проблема вирішена.

Глобальні інформаційні мережі дозволяють не тільки швидко отримувати інформацію, але й забезпечують можливість двостороннього обміну даними. Базуючись на існуючих лініях комунікації, національних, комерційних, багатосторонніх і двосторонніх інформаційних системах, геоінформаційні проекти можуть поєднувати міжнародні, урядові, комерційні й інші організації. Одним із вдалих прикладів міжнародного співробітництва може слугувати створення в Глобальній інформаційній мережі небезпечних ситуацій.

Свої сервери в Internet мають різні організації, які займаються різноманітними видами діяльності в геоінформаційній галузі, тобто створюють, використовують і поширюють цифрові геопросторові дані на всіх рівнях управління, науки, освіти та приватного сектору.

Цифрові картографічні матеріали представлені в Інтернеті у різних видах (рис. 5.27). Найбільш цікавою є карта висот, що є матрицею, кожна точка якої характеризується координатами (широтою і довготою) та висотою.

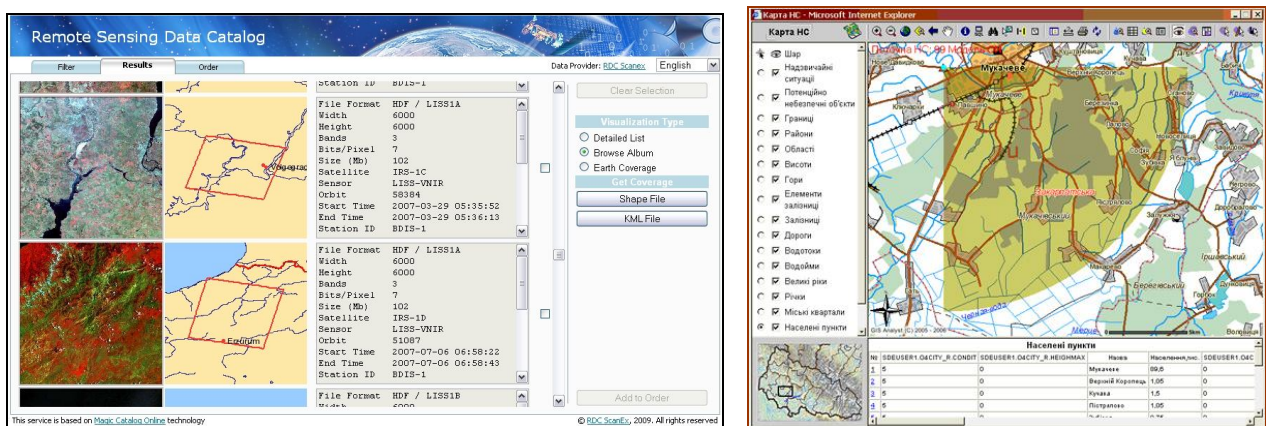


Рис. 5.27. Приклад отримання даних з Інтернету

На основі такої матриці можлива побудова карт в ізолініях висот, псевдотримірних тіньових карт рельєфу та тривимірних карт або блок-діаграм.

На сервері NOAA National Data Centers представлені дані ETOPO5 – п'ятимінутні, 30-секундні матриці для всієї Земної кулі, а також батиметрія дна та карти поверхні дна, побудовані за даними супутникової альтиметрії.

Важливими є просторові дані. Наведено нижче декілька адрес web-сайтів, де можна знайти такі БД: <http://mac.usgs.gov/mac/isb/pubs/forms/nimapl.html> – карти світу з береговою лінією масштабів 1:20000000; 1:22 000 000; 1:30 000 000; геологічної служби США: <http://esri.com/data/online/about.html> ESRI Arc Atlas в масштабі 1:10000000; 1:25000000 в растровому та векторному форматі (граничі країн, щільність населення, транспортні мережі, аеропорти, мінеральні джерела, гори, льодовики, сніг, опади тощо); <http://nbi.ac.uk/bodc/gebcro.html> – цифрові карти GEBCO; <http://tmpo.nima.mil.html> – цифрова морська карта – векторна берегова лінія в масштабі 1:250 000; географічні назви (CD-ROM), друга редакція (без США й Антарктиди), геологічна служба США: <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer> – Query and order satellite images, aerial photographs, and cartographic products through the U.S. Geological Survey (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

National Imagery and Mapping Agency Topographic Maps, Publications, and Digital Products List,
<http://mac.usgs.gov/mac/isb/pubs/forms/nimapl.html>

Ім'я карти та масштаб	USGS Stock No.	Вартість за аркуш, \$
Area Outline Map, Series 1105, Scale 1:20 000 000	T1105XC01-27	10.00
The World, Series 1144, Scale 1:22 000 000	TAA0060-62	7.00
The World, Series 1144, Scale 1:22 000 000 (set of tree)	TAA0245	21.00
The World, Series 1145, Scale 1:30 000 000	TAA0058	7.00
The World, Series 1150, Scale 1:14 000 000	TAA0064-69	10.00
The World, Series 1150, Scale 1:14 000 000 (set of six)	TAA0246	60.00
Middle East Briefing, Series 1308, Scale 1: 1 500 000	T1308XMEBRMAP	10.00
Arabian Peninsula, Series 5211, Scale 1:2 250 000	T5211X270B2	10.00
Africa, Series 2201, Scale 1:2 000 000	T2201X01-36	10.00
Southeast Asia Briefing, Series, Scale 1:2 000 000	T5213XSEABRMAP	10.00
Military Installations Map, Series 8205, Scale 1:3 500 000	T8205XMILINST	10.00
Vietnam, Series L7014, Scale 1:50 000	See Catalog*	7.00
15-Minute State Series, Scale 1:50 000	See State Map List**	7.00
15-Minute State Series, Scale 1:25 000	See State Map List**	4.00
World Road Maps (Middle East), Series 1310, Scale 1:1 000 000	T1310X01-06	10.00
Digital Products		
Digital Interim Geographic Names Data (CD-ROM), Edition 2 (excluding the United States and Antarctica)	68-DIGNAMES	11.50
Vector Map (VMAP) Level 0/Digital Chart of the World set of four CD-ROM's)	01-VMAP	100

Достатньо багато просторових даних знаходиться на компакт-дисках, наприклад:

- векторна карта рівня 0. Цифрова карта світу (4-CD-ROM), Геологічна служба США;
- цифрова карта Світу в масштабі 1:1 000 000, 1992, CD-ROM, контурні лінії МО США;
- Світовий банк даних I та II (кордони країн, головні річки, берегова лінія, острови, озера) в масштабі 1:3 000 000, 1987;
- БД глобальних екосистем. CD-ROM, ETOPO5, температура повітря, опади, 1992.

5.8. Створення Internet-джерела даних

Створення інтернет-ГІС проекту є доволі складною і трудомісткою роботою. Однією з умов його успішного створення та функціонування є створення корпоративного проекту за участі групи компаній. При плануванні інтернет-ГІС проекту доводиться вирішувати низку практичних задач, від яких залежить успіх даної роботи:

- вибір джерел даних, що включають векторні та растрові формати, атрибутивну інформацію;
- вибір програмного забезпечення, на базі якого планується вести облік, обробку й аналіз даних;
- підготовка та вибір персоналу для роботи над проектом;
- визначення остаточної вартості проекту.

Щодо програмного забезпечення для передачі даних за допомогою інтернет / інтранет, то кожний розробник залежно від поставлених задач та наявної апріорної інформації вибирає його сам.

Будь-яка інтернет-ГІС має складну архітектуру та включає декілька основних блоків:

- клієнтська (демонстраційна) частина, призначена для перегляду та роботи з картографічною інформацією;
- серверна програма, яка використовується для об'єднання всієї інформації з численних джерел, її прийому і передачі по мережі Інтернет;
- додаток, який забезпечує налагодження й управління.

Клієнтська частина забезпечує доступ, візуалізацію, формування запитів і прийом інформації при аналізі картографічних даних. Як клієнтські додатки можуть використовувати динамічні HTML-сторінки, JAVA-додатки, ActiveX-об'єкти, які потребують попередньої установки.

Прикладом такого клієнтського додатка може служити MapGuide Viewer компанії Autodesk, призначений для перегляду карт із використанням звичайного Internet-браузера.

Серверна програма – багатозадачний додаток, який функціонує на картографічному сервері й опрацьовує запити, що надходять. У відповідь на запити формується растрове (JPEG, GIF, PNG) або векторне зображення, яке відсилається клієнтському додатку. Одночасно виконується функція вибірки атрибутивних даних за табличним або просторовим запитом.

Налагодження й управління здійснюється окремим додатком, який дозволяє визначити тип, форму і вид вихідної інформації, кількість і тип доступних шарів карти. Також виконується адміністрування та розмежування прав доступу до картографічної інформації.

Однією з найбільш важливих проблем успішного функціонування інтернет-ГІС проекту є система захисту інформації. Як правило, безпека забезпечується механізмом закриття інформації на сервері, використання протоколу S-HTTP (Secure HyperText Transport Protocol), системою адміністрування. Таким чином, адміністратор визначає доступні клієнту шари й атрибутивні дані.

Найбільш відомими та повнофункціональними на сьогодні інтернет / інтранет додатками для геоінформаційних систем є:

- Autodesk MapGuide 6 компанії Autodesk – відомого розробника програмного забезпечення для автоматизованого проектування, яка спеціалізується на програмних продуктах для ГІС;
- ArcIMS компанії ESRI, яка спеціалізується на випуску програмних геоінформаційних продуктів і засобів картографування;
- MapXtreme компанії MapInfo, яка просуває на ринку програмних інструментів свою лінійку геоінформаційних інструментів, на чолі якої стоїть повнофункціональна ГІС MapInfo.

Заслужують на увагу CSI-MAP Server фірми "КСІ-Технологія" із Санкт-Петербурга і WebMap російської фірми "Резидент" (м. Москва). За своїми функціональними можливостями та сервісом дані програми поступають відомим світовим продуктам, але з поставленими для них завданнями вони впевнено справляються, крім того, вартість їх є істотно меншою.

Подальший розвиток інтернет-ГІС, на думку авторів, найбільш імовірно, буде здійснюватися за такими напрямками:

- нарощуванням функціональних можливостей зі збільшенням інструментальних засобів з одночасним спрощенням інтерфейсу і процесом створення та включенням додаткових модулів, що призведе до розмивання границь між віддаленими клієнтами і локальними робочими станціями;
- розширенням сфер застосування, включаючи інтеграцію з новими технічними та мобільними пристроями;
- появою нових аналітичних можливостей із використанням нових джерел інформації.

5.9. Текстові матеріали як джерело даних для ГІС

Текстові матеріали використовуються в ГІС як описова інформація. Поряд зі спеціалізованим програмним забезпеченням ГІС можуть використовувати різні офісні пакети (наприклад, Microsoft Office), може бути створений так званий гарячий зв'язок (hot line) між просторовими об'єктами, їхніми атрибутивними та текстовими даними, які повністю і всебічно описують певний об'єкт. Наприклад, при виборі будь-якої будівлі на електронній карті буде виведена атрибутивна інформація про фірми, що орендують приміщення в цьому будинку, а при виборі певної фірми буде виведено все ділове листування (угоди, листи, рахунки тощо).

Важливим джерелом даних також може бути різна довідкова література, результати лабораторних досліджень тощо.

Для обробки текстових даних розробляються методи їх групування, формалізації, переведення в табличну форму. При обробці паперових джерел можуть використовуватися методи автоматизованого розпізнавання тексту.

VI. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МОДЕЛІ ДАНИХ У ГІС

*Існує лише те, що можна виміряти.
М. Планк*

Організація подання даних у ГІС визначає можливість застосування тих або інших технологій введення даних, від якої залежить просторова точність подання графічної частини інформації, можливість отримання якісного картографічного матеріалу й організація контролю якості карт. Спосіб організації даних у ГІС визначає також швидкість системи, наприклад, при виконанні запиту або візуалізації на екрані.

Можливість роботи з великими об'ємами даних або з точними даними щодо великих територій також безпосередньо пов'язана зі способами й формами організації даних.

Зручність редагування й оновлення даних, можливості організації багатокористувацької роботи в режимі редагування, створення розподілених мережеских баз даних у першу чергу визначається організацією даних, і тільки потім – конкретним програмним забезпеченням.

6.1. Класифікація моделей даних у ГІС

Усі ГІС будуються на основі формальних моделей, які описують розміщення об'єктів (процесів, явищ) у просторі.

Формальна модель є узагальненою та чіткою системою понять, яка може бути застосована для опису й моделювання об'єктів (процесів, явищ), що відбуваються на певній території. Моделі є тим підґрунтям, на якому будуються ГІС.

Вибір моделі організації даних (способу цифрового опису просторових об'єктів) у ГІС є надзвичайно важливим етапом. Це зумовлене тим, що модель даних безпосередньо визначає більшість функціональних можливостей ГІС і можливість застосування тих або інших технологій введення даних. Від моделі залежить як просторова точність подання візуальної частини інформації, так і можливість одержання якісного картографічного матеріалу й організація контролю цифрових карт. Від способу організації даних в ГІС суттєво залежить продуктивність системи, наприклад, при виконанні запиту до бази даних або рендерингу на екрані монітора.

Рендеринг, комп'ютерна візуалізація (англ. *rendering* – візуалізація, вимальовування, подання) – це процес отримання зображення за моделлю за допомогою комп'ютерної програми.

Термін *рендеринг* в Україні вживають для вказівки процесу візуалізації, що виконується за допомогою програмного забезпечення, а *рендер* – для позначення готового зображення, тобто як синоніми до словосполучень: комп'ютерна візуалізація – комп'ютерний рендеринг, візуалізований об'єкт – рендер.

Можливість працювати з великими об'ємами даних великих територій, зручність редагування й оновлення даних, можливості організації багатокористувацької роботи в режимі редагування, створення розподілених по мережі баз даних – усе це пов'язано, по-перше, з організацією даних і вже, по-друге, – з конкретним програмним забезпеченням.

Помилки у виборі моделі можуть істотно вплинути в подальшому на можливість реалізації в ГІС необхідних функцій і розширення їх списку, і, як наслідок, на ефективність проекту з економічної точки зору. Від вибору моделі даних напряму залежить цінність баз даних просторової й атрибутивної інформації, що формуються в процесі створення ГІС.

Виділяють чотири моделі даних:

– *концептуальні моделі подання реальності*, що ґрунтуються на різних властивостях реальності, необхідних для її інтерпретації й аналізу;

– *моделі просторових об'єктів*, що визначають процес перетворення реального розмаїття в набір дискретних об'єктів, способи опису просторових об'єктів і організації просторових даних у комп'ютерних середовищах – побудові *цифрових моделей просторових об'єктів*, які засновані на поняттях геометрії та просторової розмірності;

– *моделі просторових даних* – цифрові подання даних у базах гео-даних, що відбивають логічні правила формалізованого цифрового опису об'єктів (векторного, растрового, пошарового);

– *моделі системи керування базою даних (СКБД)* – комплекс програм і мовних засобів, призначених для створення, ведення і використання баз даних, що розроблені в інформатиці.

Рівні організації даних утворюють ієрархію, яку можна представити у вигляді піраміди (рис. 6.1).

Моделі даних – це найвищий, концептуальний рівень організації даних, що визначає організацію даних у ГІС, які є створеними та готовими до відображення та перетворення на результат даними.

Другий рівень, більш детальний, – *рівень структури даних*. Зазвичай це матриці перетворення, векторні дані, посилання, списки та інші специфічні для кожної з ГІС способи структурування даних.

На третьому рівні представлені *структури файлів і форматів*. Цей рівень максимально деталізує модель даних та уможливорює нормалізацію даних. До цього рівня слід віднести структури файлів, баз даних і типи даних.

На четвертому рівні, фізичному, описується *організація конкретної структури бази даних*, яка є унікальною для кожного проекту.



Рис. 6.1. Рівні організації даних у ГІС

ГІС має зберігати передусім *базові дані* та дані, специфічні для конкретної ГІС. Усі дані зберігаються в базах даних, які можна умовно розділити на такі типи:

а) *база геоданих* – це просторова база даних, що містить набори даних, що відображають геоінформацію в контексті загальної моделі даних ГІС. До цих даних відносяться векторні об'єкти та зображення, растри, топологія, мережі, тривимірні об'єкти, а також усі об'єкти, що входять до складу тематичних шарів і є однією зі складових моделі даних;

б) *база геовізуалізації* – це набір карт й інших видів, які показують просторові об'єкти та функціональну взаємодію між об'єктами на земній поверхні. В цій базі можуть бути побудовані як різні види карт, так "вікна в базу даних" для підтримки запитів, аналізу та редагування інформації;

в) *тип геообробки ГІС* – це інструментарій для одержання нових наборів геоданих із наявних наборів даних.

Функції просторових даних отримують інформацію з наборів даних, застосовують до них аналітичні функції і записують одержані результати в нові похідні набори даних. Прикладом може слугувати певний тематичний шар, для створення якого було відібрано дані інших тематичних шарів.

6.2. Організація та обробка інформації в ГІС

Будь-яка ГІС володіє розвиненими засобами обробки й аналізу вхідних даних із метою подальшої їх реалізації у речовій формі. На рис. 6.2 представлена схема обробки інформації в ГІС.



Рис. 6.2. Підходи щодо організації обробки інформації в ГІС

На першому етапі відбувається збір як географічної (цифрові карти, зображення), так і атрибутивної інформації. Зібрані дані групуються в двох базах даних. Перша БД зберігає картографічні (просторові) дані, друга ж – наповнюється атрибутивною інформацією.

На другому етапі система обробки просторових даних звертається до баз даних для проведення обробки й аналізу затребуваної інформації. При цьому весь процес контролюється системою керування баз даних (СКБД), за допомогою якої можна здійснювати швидкий пошук табличної та статистичної інформації.

Зазвичай, основним результатом роботи ГІС є різноманітні карти. Для організації зв'язку між просторовою (географічною) й атрибутивною інформацією використовують чотири підходи взаємодії.

Перший підхід – *геореляційний* або, як його ще називають, *гібридний*. При такому підході організація просторових і атрибутивних даних відбувається різним чином. Між двома типами даних зв'язок здійснюється за допомогою ідентифікатора об'єкта. Просторова інформація зберігається окремо від атрибутивної у своїй БД. Атрибутивна інформація організована в таблиці під управлінням реляційної СКБД.

Характеризуючи призначення ідентифікатора, зауважимо, що це один із основних параметрів, який бере участь у структуруванні даних. Його призначення – це визначення певних ознак, інформації про об'єкт, що може динамічно змінюватися, незважаючи на статичність цього об'єкта.

Кожний об'єкт має містити власні атрибути, у яких визначаються базові властивості (наприклад, площа, об'єм, маса, швидкість тощо). Оскільки кожний об'єкт може бути як окремим елементом одного з тематичних шарів, так і конкретним шаром, то потрібна чітка прив'язка до простору та часу. Для моделювання складної ГІС недостатньо мати інформацію лише про структуру та позицію об'єкта.

Другий підхід називається *інтеграційним*. При ньому передбачається використання засобів СКБД для збереження як просторової, так і атрибутивної інформації, тобто ГІС виступає як надбудова над СКБД.

Третій підхід називають *об'єктним*. У об'єктно-орієнтованій моделі акцент робиться на положення об'єктів у певній складній ієрархічній системі класифікації та на взаємовідносинах між об'єктами.

Приклад ієрархічної класифікації представлений на рис. 6.3.



Рис. 6.3. Приклад ієрархічної класифікації

Позитивні моменти цього підходу полягають у легкості опису складних структур даних і взаємовідношень між об'єктами. Об'єктний підхід дозволяє вибудовувати ієрархічні ланцюги об'єктів і вирішувати різноманітні задачі моделювання.

Сучасні об'єктно-орієнтовані ГІС працюють із цілими класами та сімействами об'єктів, які дозволяють користувачу одержувати більш повне уявлення про властивості цих об'єктів і притаманні їм закономірності.

Останнім часом все більше застосовується *об'єктно-реляційний підхід*, який є синтезом першого та третього підходів.

Переваги цифрового подання просторових даних:

- легко копіювати;
- передаються з великою швидкістю;
- менше схильні до фізичного зносу;
- легко трансформувати, обробляти, аналізувати;
- можна робити те, чого неможливо робити з паперовими картами, а саме: швидко і точно робити виміри, комбінувати, масштабувати та панорамувати.

VII. РАСТРОВІ МОДЕЛІ ПОДАННЯ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

7.1. Принципи побудови растрових моделей

Для опису реальних об'єктів у програмному середовищі ГІС використовується *модель просторових даних*, тобто спосіб цифрового опису просторових об'єктів, який містить інформацію про їхнє розміщення і властивості, просторові та непросторові атрибути.

Для подання просторових даних у ГІС використовують *растрові* та *векторні* структури даних (рис. 7.1).

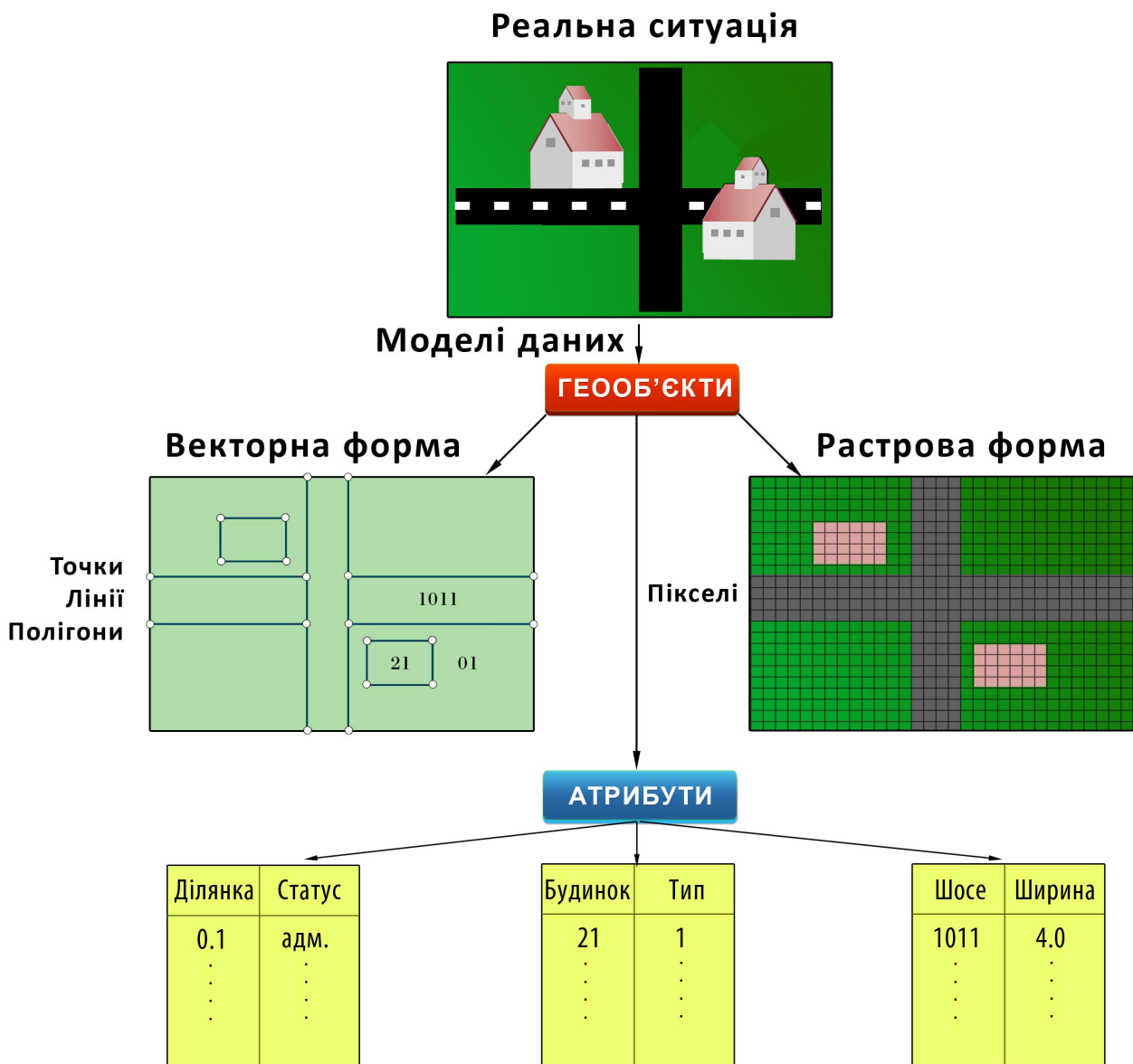


Рис. 7.1. Просторове подання даних у ГІС

Структура просторових даних – це фізичний спосіб кодування параметрів об'єктів, що використовується для їх збереження й аналізу.

Растрова модель даних (Raster Geographic Data Model) історично є першою моделлю даних геоінформатики, де дискретизація безперервного простору здійснюється найпростішим способом – увесь об'єкт (досліджувана територія) розбивається на просторові комірки, які утворюють *регулярну сітку* або *матрицю* (набір дискретних об'єктів).

Растрові зображення нагадують аркуш паперу в клітинку, на якому кожній клітинці відповідає однакова за розмірами, але різна за характеристиками (колір, щільність тощо) ділянка поверхні геооб'єкта (рис. 7.2).

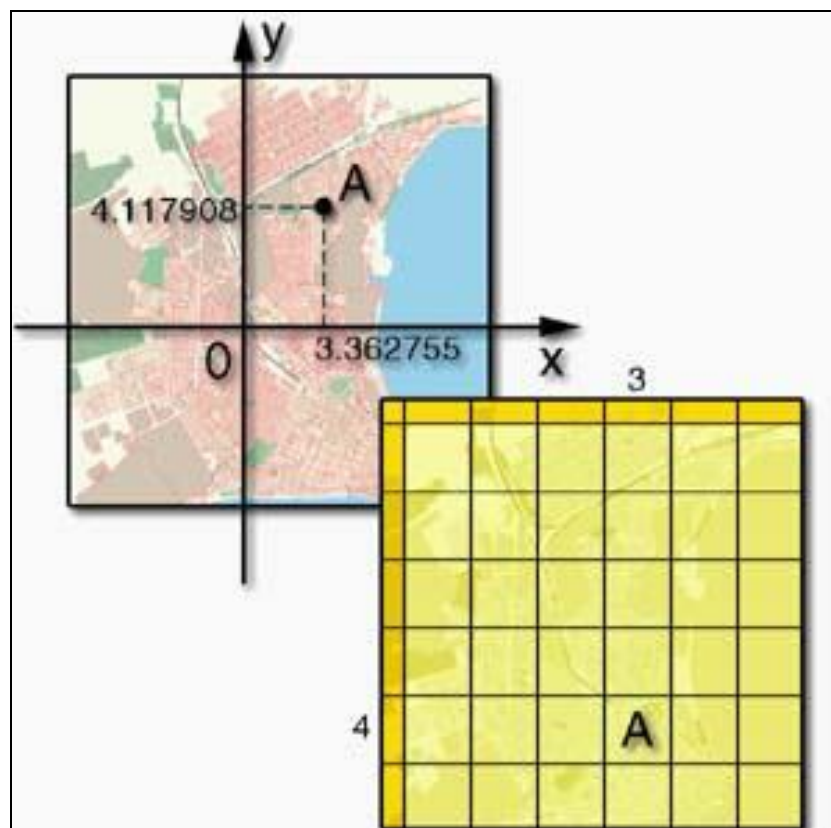


Рис. 7.2. Формування растрової моделі

Найменший неподільний елемент растрової моделі, залежно від способу завдання, називають *пікселем* або *коміркою* (чарункою).

Піксель (англ. *pixel – picture element*) – **найменший елемент поверхні візуалізації, що отримують у результаті дискретизації – розбивки на неподільні елементи – дискрети (комірки або точки растру), завдяки якому можуть бути незалежним чином визначені колір, інтенсивність та інші характеристики об'єкта дослідження.**

Комірка (*cell*) – **одиниця інформації про географічний простір.**

Для подання цифрових тривимірних зображень використовується тривимірний аналог пікселя – *воксель* (*voxel – volume element*).

Упорядкована сукупність комірок утворює *растр*, який є моделлю карти або геооб'єкта.

Растр (raster, tessellation) – набір даних, що мають географічний характер, значення яких організовані в прямокутний масив об'єктів.

Растр утворений пікселями, представляє собою зображення (image).

Відмінність між растровою моделлю та зображенням полягає в тому, що комірка першого зберігає фактично код об'єкта (процесу, явища), а другого – величину яскравості.

Растрова модель даних (raster data model) – цифрове подання даних у вигляді сукупностей комірок растру (пікселів) з привласненням їм значень класу об'єкта.

Растрова модель складається з рядів комірок і колонок (стовпців) (рис. 7.3).

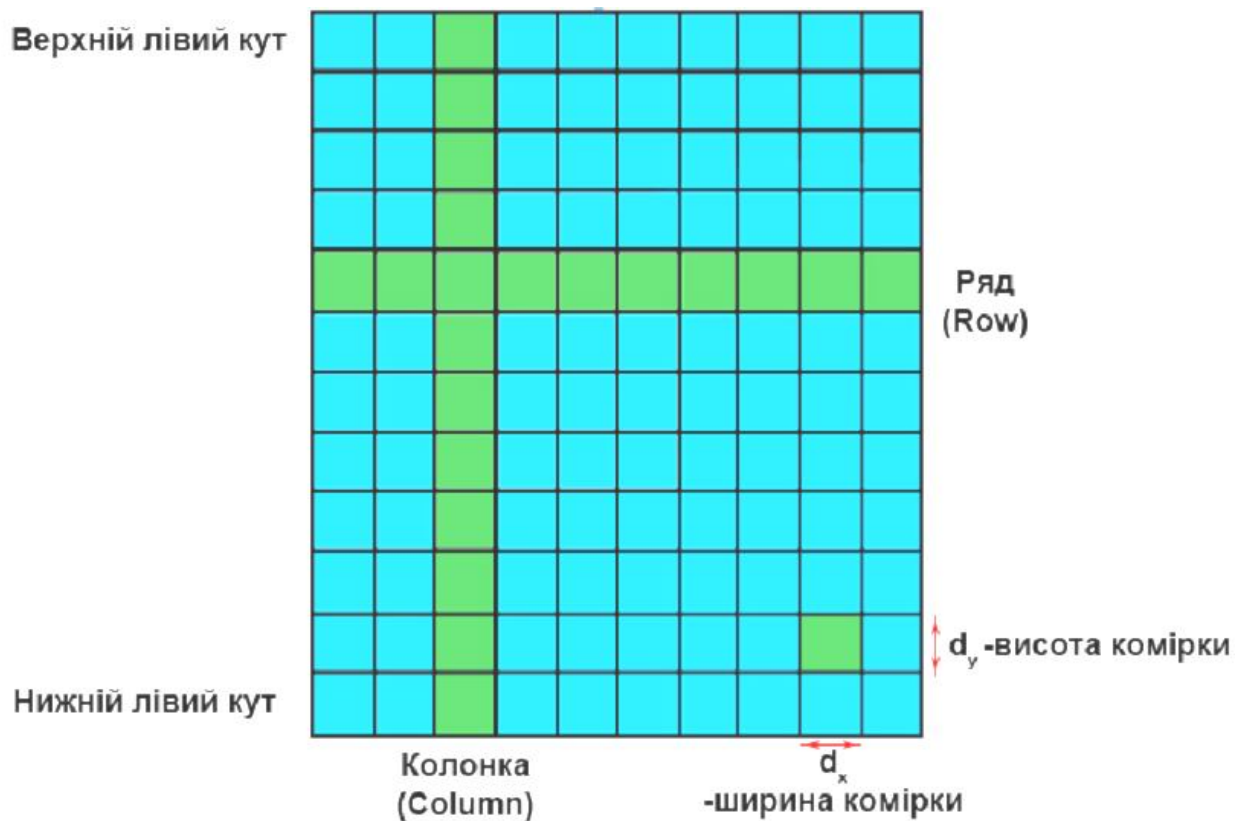


Рис. 7.3. Растрова модель

Кожна комірка растрової моделі має ширину d_x (розмір по осі X) та висоту d_y (розмір по осі Y). Комірki одного растру мають однакові розміри.

Положення кожної комірки можна описати координатами X (колонка), Y (рядок), іноді зі значенням координати висоти Z . Тематично кожна комірка растру (елемент зображення, піксель) може описувати певну властивість або ознаку відповідної їй географічної області, наприклад, крутизну схилу або висоту над рівнем моря, тип рослинності або ґрунту тощо.

Поверхні подаються в вигляді регулярної матриці двовимірних комірок зі значенням висоти Z . Кожна комірка зберігає своє значення Z . Тривимірна растрова модель поверхні представляє собою сукупність суміжних блоків. Значення Z відображаються відповідним кольором (рис. 7.4).

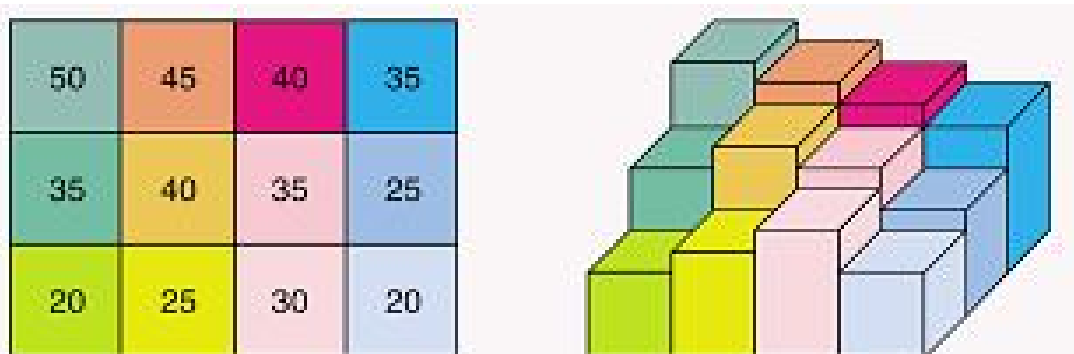


Рис. 7.4. 2D і 3D растрове подання поверхні [19]

Растрове подання просторових об'єктів передбачає позиціонування *точкових, лінійних і площинних* об'єктів вказівкою їх положення в прямокутній матриці.

Точкові об'єкти подаються окремими комірками, що мають номер, координати й атрибути (рис. 7.5 а). Точковий 0-мірний об'єкт, що не має розміру, відображується двовимірною структурою, що має ширину і довжину.

Лінійні об'єкти (рис. 7.5 б) мають порядковий номер, набір (серію) координат, що формують лінію й атрибути.

Полігональні об'єкти (ареали, площі) подаються номером, групи координат, що формують площинний об'єкт і атрибути (рис. 7.5 в).

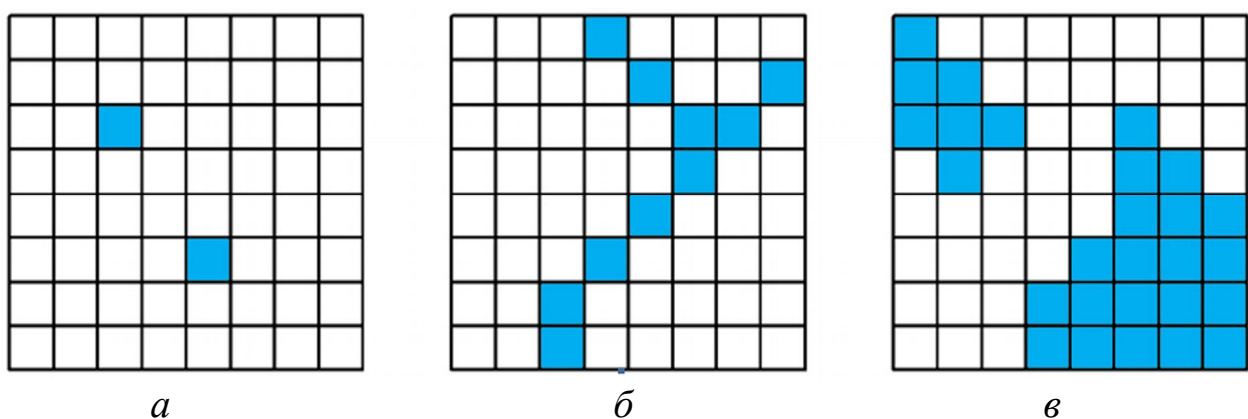


Рис. 7.5. Подання географічних об'єктів растровими моделями:
 а – точкові об'єкти; б – лінійні об'єкти; в – полігональні об'єкти (області)

Оскільки геооб'єкти у растровій моделі мають східчастий вигляд, то зрозуміло, що *растрові структури даних не забезпечують точної*

інформації про місце розташування, оскільки географічний простір поділений на дискретні осередки кінцевого розміру. Замість точних координат точок ми оперуємо з окремими комірками растру, до яких потрапляють ці точки.

Растрові способи формалізації просторових даних поділяють на:

- *регулярні (правильні геометричні);*
- *нерегулярні (полігони Тиссена, діаграми Вороного-Дирихле, TIN-моделі);*
- *вкладені (рекурсивні чи ієрархічні сітки (квадратомічні дерева), що повністю покривають досліджувану територію);*
- *безструктурні гіперграфові;*
- *решітчасті.*

7.2. Растрові моделі на основі регулярних мереж

Растрові моделі на основі регулярних мереж (сіток) засновані на поділі досліджуваної території на комірки правильної форми у певній системі координат. При цьому, утворювана сітка (матриця) комірок будується на площині або об'ємній поверхні. Розміри комірок можуть бути різними й визначаються потрібною просторовою розрізненістю.

Область, що подається елементом растрової моделі може бути від декількох мікрон до десятків кілометрів, і має назву *просторової розрізненості сітки*. Більш висока розрізненість вимагає більшої кількості елементів, що утворюють певну область.

Регулярні мережі зазвичай бувають трьох типів: *квадратні* (прямокутні) (рис. 7.6 а), *трикутні* (рис. 7.6 б) та *шестикутні* (рис. 7.6 в).

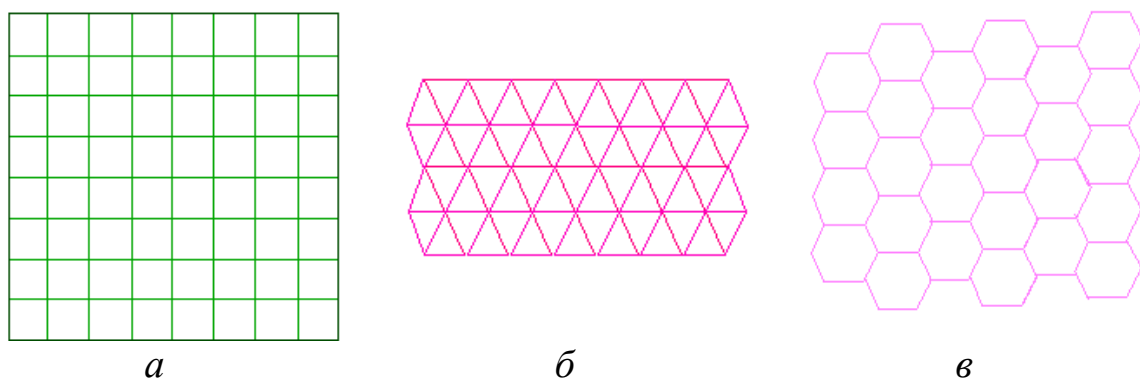


Рис. 7.6. Регулярні мережі:

а – квадратні; б – трикутні; в – шестикутні (гексагональні)

Перевага квадратної мозаїки полягає в тому, що на сьогодні це найзручніша модель, оскільки дозволяє здійснювати обробку великих масивів даних.

Трикутна мозаїка більш гнучка ніж чотирикутна і краще підходить для моделювання тривимірних поверхонь. Саме це зумовило широке застосування трикутної мозаїки при моделюванні рельєфу в нерегулярних мережах, наприклад, у TIN (Triangulated Irregular Network) – моделі, яка використовується в пакеті ARC / INFO.

Шестикутна мозаїка подається правильними шестикутниками, в яких відстань між центрами всіх сусідніх комірок є постійною (еквідистантною), тоді як квадратні або прямокутні растри такої властивості не мають.

З точки зору растрової моделі, просторові об'єкти можна подати як сукупність атрибутів. Наприклад, сукупність атрибутів "болото" і "ліс" породжує об'єкт "ліс по болоту", сукупність атрибутів "номер", "вулиця", "колір" породжує об'єкт "будинок" тощо. Збереження атрибутів організовується у вигляді матриці, кожна комірка якої зіставляється з прямокутною областю простору. В кожній комірці записуються значення атрибута, наприклад, висота дерев, глибина річки. У найпростішому випадку в комірці просто вказується ознака наявності або відсутності об'єкта (рис. 7.7).

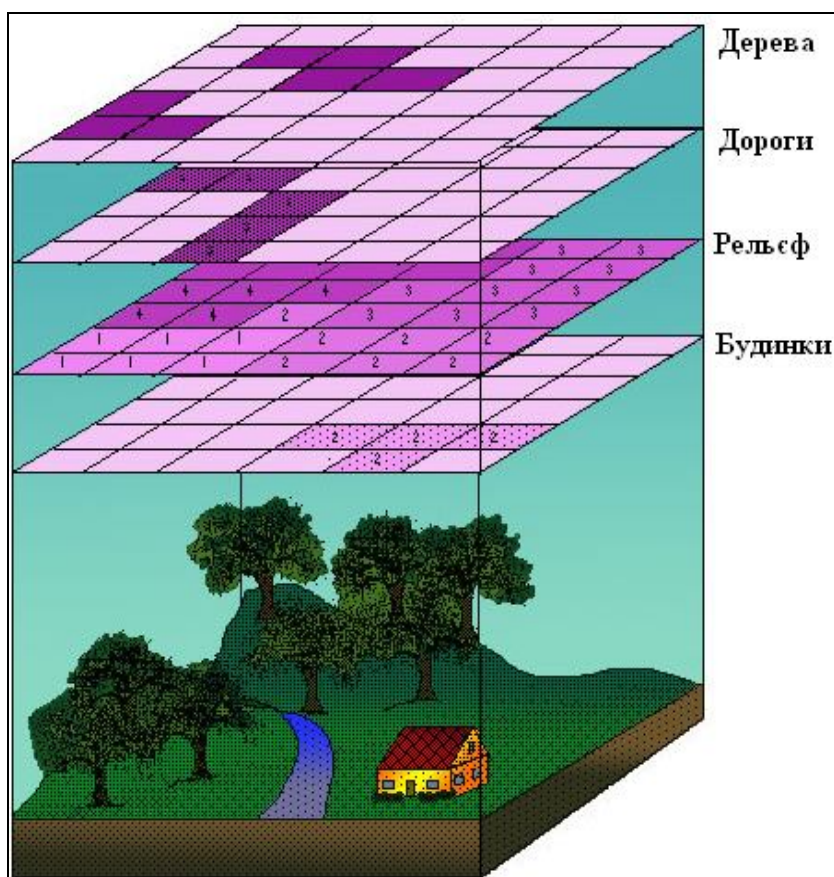


Рис. 7.7. Схема подання тематичних шарів растрової регулярної моделі

Кожен прямокутник має унікальний номер, що складається з позицій в стовпці (I) і рядку (J) матриці, що задає його положення відносно суміжних комірок.

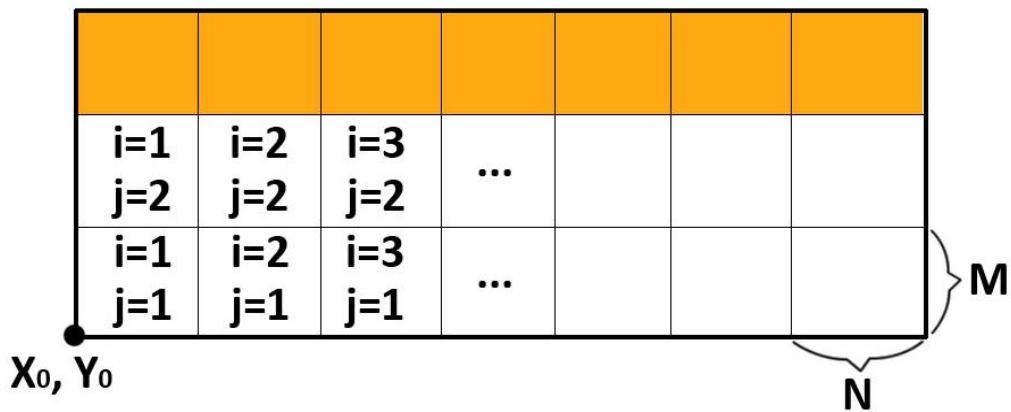


Рис. 7.8. Координати комірок у "сітці" растрової моделі

З рис. 7.8 видно, що, знаючи координати першої комірки та номер стовпця (I), і рядка (J), можна легко перейти до координат будь-якої іншої комірки матриці:

$$X(I) = X(0) + I(N),$$

$$Y(J) = Y(0) + J(M),$$

де M, N – розмір комірки в прийнятій системі координат.

Якщо в базі даних потрібно зберігати більше одного атрибута, необхідно створити нову матрицю, в якій просторове положення комірок буде таким же, як і у вихідній матриці (рис. 7.9).

0	0	1	1	1	1	1	
0	00	10	10	10	10	10	0
0	01	11	11	11	11	11	00
0	01	11	11	11	11	11	00
0	01	11	11	11	11	11	00
0	01	01	01	01	01	01	0
	1	1	1	1	1	1	0

0 - нема болота 0 - нема лісу 11 - ліс по болоту
 1 - є болото 1 - є ліс

Рис. 7.9. Збереження даних у растровій моделі

7.3. Растрові моделі даних на основі нерегулярних мереж

Серед нерегулярних мереж у ГІС застосовуються *полігони Тиссена*²², *діаграми Вороного*, *лінійна нерегулярна мережа системи нерівнокутних трикутників*.

7.3.1. Полігони Тиссена

Полігони Тиссена (Thiessen polygons, Thiessen polygons) – полігональні області, що утворюються на заданій множині точок таким чином, що відстань від будь-якої точки області до даної точки менша, ніж для будь-якої іншої точки множини.

Полігони Тиссена – це багатокутники (полігони), що утворюються навколо множини точкових об'єктів таким чином, що для будь-якої позиції в межах полігонів відстань від центрального точкового об'єкта завжди менше, ніж до іншого об'єкта множини, що розглядається (рис. 7.10).

Полігони Тиссена є зручним інструментом для здійснення просторового аналізу на *сусідство, близькість і досяжність*.

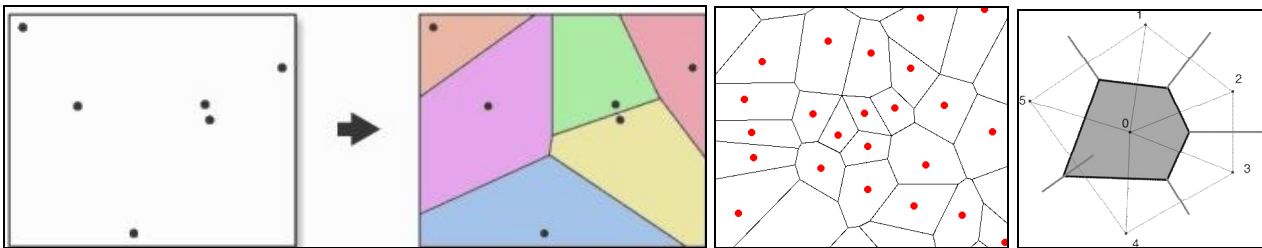


Рис. 7.10. Полігони Тиссена

Побудова полігонів Тиссена є основою локально-детермінованих методів просторової інтерполяції точкових даних.

Безумовною перевагою методу є його простота та доступність реалізації практично в усіх геоінформаційних пакетах з розвинутими аналітичними можливостями. Однак слід пам'ятати, що на побудованій карті з використанням цього методу просторовий розподіл досліджуваної змінної має розрив безперервності на кордонах полігонів, що, як правило, суперечить

²² **Альфред Н. Тиссен** (8.04.1872–1956) – американський метеоролог, народився в м. Трой штату Нью-Йорк. Отримав ступінь бакалавра в Корнельському університеті в 1898 р. Працював в Бюро погоди (сьогодні NOAA – Національне управління океанічних і атмосферних досліджень).

Найбільш відомою працею (1911 р.) був опис прогнозу погоди геометричним методом, який зараз носить його ім'я. Полігони Тиссена також використовувалися для оцінки сфер впливу міста держави індіців майя.

дійсності. До того ж характер змодельованого просторового розподілу значною мірою залежить від просторового розміщення вузлів мережі. У зв'язку з цим метод рекомендується для інтерполяції точкових значень при:

- а) відносно невеликому діапазоні змін даної змінної;
- б) просторовій однорідності умов формування її поля.

7.3.2. Діаграми Г. Вороного

Завдання побудови зон близькості вперше було поставлене в 1908 р. Георгієм Вороним²³.

У ГІС завдання побудови зон близькості часто виникає при розв'язанні різноманітних задач оптимізації розміщення пунктів обслуговування [19]. Наприклад, потрібно визначити всі точки площини, для яких відстань S до множини об'єктів $\{a_{ij}\}$ є мінімальною.

Припустимо, що є площина, на якій необхідно подати кінцеву множину точок (як мінімум, дві). Ці точки зададуть розбивку площини на області, в кожній із яких будь-яка точка буде більш наближена до виділеної точки. Для двох точок це набуде вигляду – див. рис. 7.11:

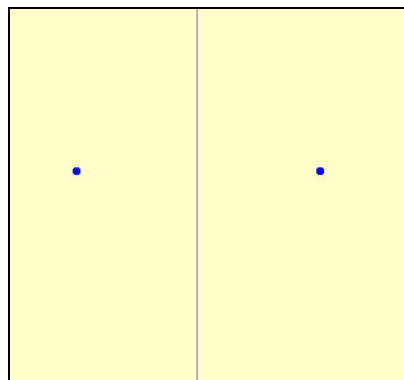
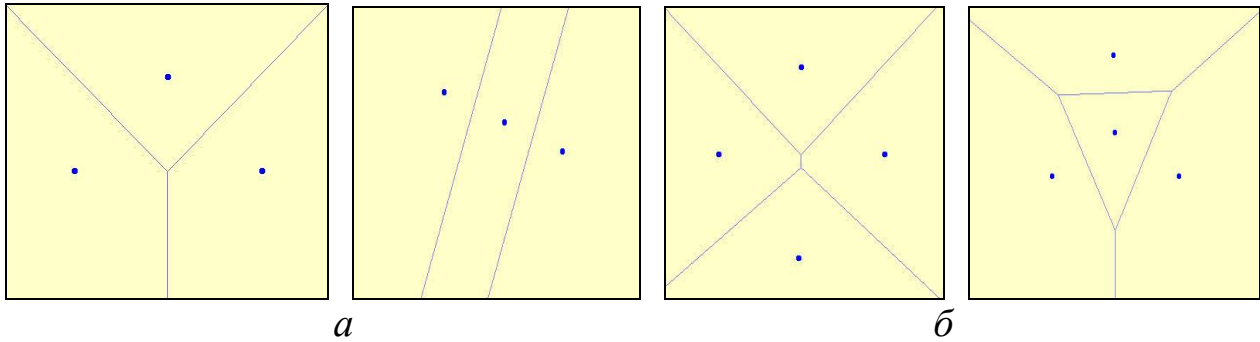


Рис. 7.11. Побудова діаграми Вороного двох точок

Границя – серединний перпендикуляр відрізка, з'єднуючого ці точки. Для трьох і чотирьох точок отримаємо (рис. 7.12):

²³**Вороний** Георгій Феодосійович (28.04.1868–20.11.1908) – відомий український математик, визнаний фахівцями як один із найяскравіших талантів у галузі теорії чисел на рубежі ХІХ–ХХ ст. Вороний за своє життя надрукував тільки дванадцять статей. Але вони дали поштовх для розвитку декількох нових напрямків у аналітичній теорії чисел, алгебраїчній теорії чисел, геометрії чисел, які зараз активно розвиваються в багатьох країнах. Сфера застосування його розроблень – від комп'ютерної графіки до геометричного моделювання та створення штучного інтелекту. Сьогодні роботи Г. Вороного використовуються фахівцями різних галузей знань практично в усіх розвинених країнах.



*Рис. 7.12. Побудова діаграми Вороного:
а – для трьох точок; б – для чотирьох точок*

Таким чином, будь-яка кінцева множина точок на площині задасть розбивку на області, в кожній з яких будуть знаходитися точки, що лежать ближче до даної точки, ніж до будь-якої іншої.

У загальному вигляді розбивка виглядає як зображене на рис. 7.13.

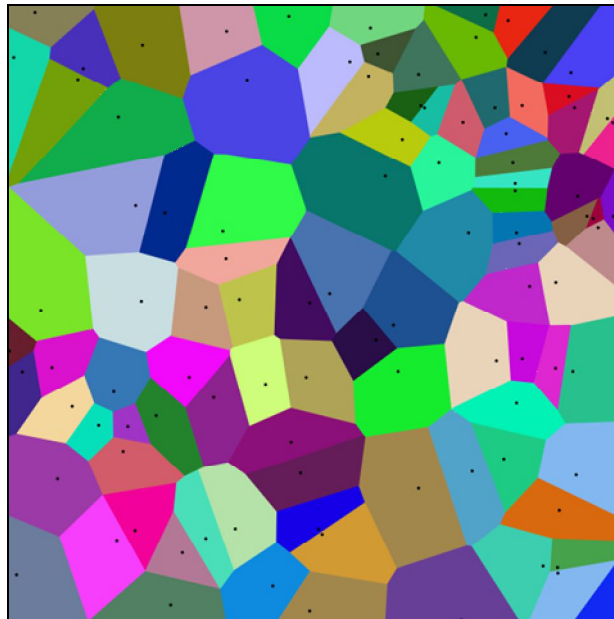


Рис. 7.13. Побудова діаграми Вороного для множини точок

7.3.3. Трикутні сітки неправильної форми

Трикутні сітки неправильної форми (Triangulated Irregular Network, TIN) – лінійна нерегулярна мережа системи нерівнокутних трикутників (рис. 7.14).

При побудові TIN-моделі дискретно розташовані точки з'єднуються лініями, які утворюють трикутники. В межах кожного трикутника, поверхня зазвичай подається площиною.

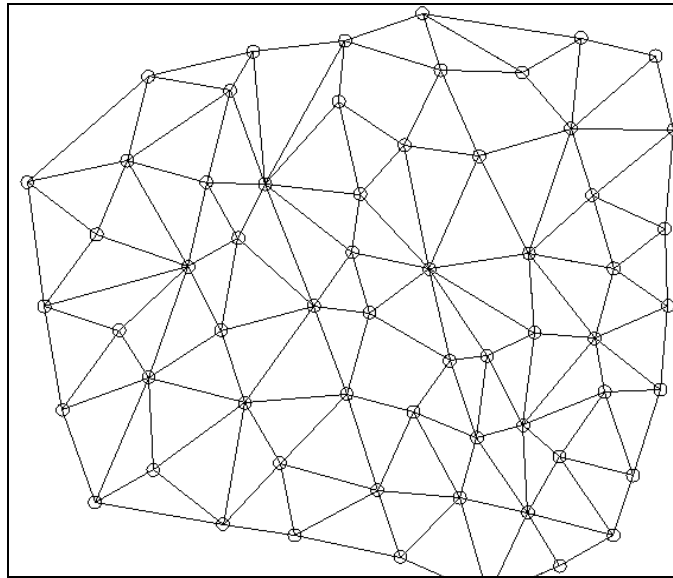


Рис. 7.14. Лінійна нерегулярна мережа системи нерівнокутних трикутників

Оскільки поверхня кожного трикутника задається висотами трьох його вершин, то використання трикутників забезпечує кожній ділянці мозаїчної поверхні точне прилягання до суміжних ділянок. А це забезпечує безперервність поверхні при нерегулярному розташуванні точок.

TIN-моделі є ефективним засобом збереження й аналізу поверхонь, оскільки дозволяє більш точно моделювати неоднорідні поверхні, які можуть на одних ділянках різко змінювати форму, а на інших – несуттєво, або взагалі не змінювати. Там, де поверхня змінюється різко, можна помістити більше точок, де поверхня змінюється плавно – менше точок.

Нерегулярні мережі володіють більшими перевагами порівняно з регулярними, оскільки за їх допомогою можна відобразити характер реальних поверхонь.

TIN-моделі можуть також використовуватись як засіб збереження вхідних даних про поверхню, як і моделі для розв'язку задач на поверхнях у ГІС, надають можливість роботи з 3D-моделями і знайшли широке застосування в задачах моделювання рельєфу.

7.4. Ієрархічні моделі

Ієрархічні моделі є найбільш придатними для відображення ієрархічно організованих растрових зображень. Подання растрової інформації у вигляді декількох пов'язаних внутрішньо рівнів, при якому нижній рівень відповідає вихідному представленню растру, що має розмір $N \times M$ елементів, а кожний вище розташований рівень є узагальненням інформації в m комірках нижчого рівня, має назву *пірамідального* (рис. 7.15).

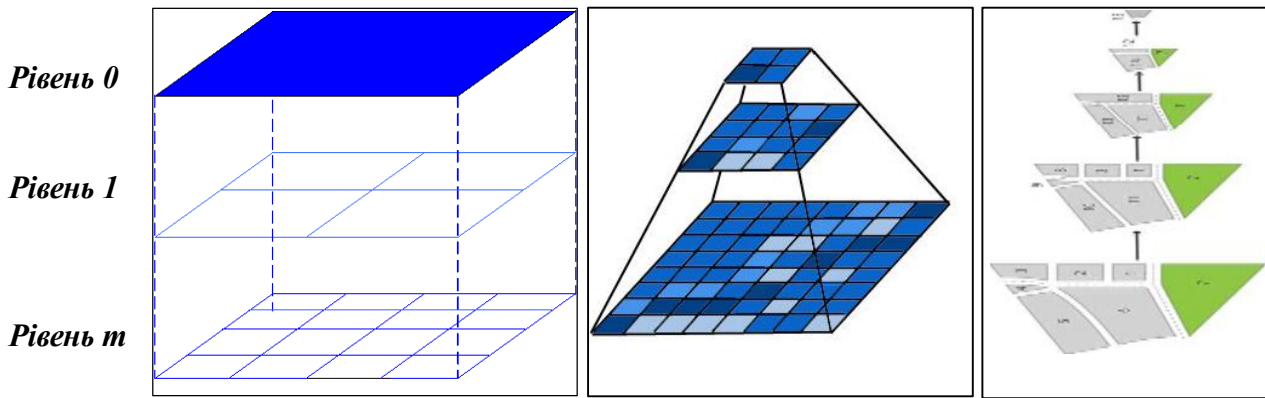


Рис. 7.15. Ієрархічні растрові структури даних, подані у вигляді піраміди

Вихідне зображення записується в декількох копіях. Кожна наступна копія має вдвічі меншу розрізненість. І коли растрове зображення необхідно подати на екран у заданому масштабі, обирається копія найближчої розрізненості.

Ієрархічним моделям притаманні два внутрішні обмеження. Перше обмеження – всі типи зв'язків повинні бути функціональними; друге – структура зв'язків повинна бути деревоподібною. Саме тому ієрархічні растрові структури іноді називають пірамідальними, або деревоподібними.

Наслідком цих обмежень є необхідність відповідної структуризації даних. Через функціональність зв'язків запис може мати не більше одного вихідного запису будь-якого типу, тобто зв'язок повинен мати жорсткий вигляд – $1:n$ ("один – до багатьох").

Очевидним недоліком ієрархічних моделей є збільшення часу доступу при великій кількості рівнів, тому в ГІС не використовують моделі з великою кількістю рівнів, принаймні більше 10. В той же час ієрархічні моделі доволі ефектно використовуються для складання різноманітних класифікаторів.

Пірамідальна модель – це декілька внутрішньо пов'язаних рівнів таким чином, що кожний нижній рівень складає $\frac{1}{4}$ від розміру попереднього рівня.

Американські вчені У. Тоблер і З. Чен [19, 61] використали пірамідальну модель при кодуванні даних для всієї поверхні Землі. Одиначна вершина на верхньому рівні піраміди (дерева) подає повну поверхню Землі. На 15-му рівні розмір комірки порівняний з тим, що отримують від метеосупутників, на 26-му рівні просторова розрізненість порівняна з розрізненістю аерофотознімків, а на 30-му рівні – це розрізненість сантиметрового масштабу.

У ГІС ORRMIS, розробленій в США для цілей регіонального планування, виділено шість рівнів ієрархії. На верхньому рівні, призначеному

для збереження агрегованих даних масштабу біома²⁴ чи континенту, розмір комірок 7,5 x 7,5 хвилин (площа 15606,6 га), на нижньому 10 x 10 м (площа 0,01 га). Число максимальних за розміром комірок – 140, мінімальних – понад 200 млн.

Ємність пам'яті, необхідна для збереження пірамідальних структур даних, перевищує потрібну для збереження тільки вихідного зображення. Це зумовлено тим, що при послідовному подвоєнні боку комірки растру, в процесі переходу від нижчерозташованого рівня до рівня розташованого вище, відбувається додаткове зростання об'єму інформації, за рахунок надмірної надлишковості, приблизно на 30 %. Це зростання спричинене підвищенням інформативності й універсальності бази даних, а також ефективності ряду алгоритмів обробки, таких як виділення контурів, аналіз областей тощо.

Частковим, однак досить часто використовуваним у ГІС, різноманітним ієрархічних структур є квадратомічні структури растрових даних, або квадродерева.

Квадратомічні (квадро) дерева (quadtree, Q-tree). Один із способів подання просторових об'єктів у вигляді ієрархічної деревоподібної структури, заснований на декомпозиції простору на квадратні ділянки або квадратні блоки, квадранти (quarters, quads), кожний із яких рекурсивно поділяється на 4 вкладених квадрати, до досягнення певного рівня, що забезпечує необхідну детальність опису об'єктів, еквівалентну розрізненності растру. Квадроструктура описується ієрархічною системою вкладених квадратів.

Квадродерева використовуються як простий засіб зменшення часу доступу, підвищення ефективності обробки й компактності даних, які зберігаються будучи "інтелектуалізованим" растром.

Простота витікає з геометричної регулярності розбивки, а ефективність досягається за рахунок збереження тільки вузлів із даними.

Аналогічні деревоподібні структури на зразок трихотомічних дерев (tri tree) можуть будуватися також на множині трикутних елементів моделі TIN. Менш відомі гексотомічні дерева (hextree), засновані на розподілі простору на шестикутники (гексагони). Запропоновані та використовуються розширення квадратомічного простору на багатомірні випадки, в тому числі тривимірний випадок у формі так званого октотомічного дерева або октарного дерева (octatree).

²⁴**Біом** – термін у екології, яким позначають велике регіональне угруповання рослинних і тваринних співтовариств, адаптованих до регіональних фізичних особливостей навколишнього середовища, клімату та ландшафту. Біом складається із співтовариств, що перебувають у довготривалому стані, а також всіх асоційованих з ними перехідних, ушкоджених і деградованих флори, фауни та ґрунтів. Біоми, крім загальної функціональної класифікації, можуть мати також і місцеві назви. Наприклад, трав'янисті або чагарникові біоми помірного поясу мають назву степ в Азії та Східній Європі, савана або вельд у Південній і Східній Африці, прерія в Північній Америці, аутбек або скреб у Австралії.

Квадратомічним деревом називають деревоподібний граф, ступінь вершини кожного вузла якого дорівнює 4, тобто розмір комірки кожного розташованого вище тематичного шару рівно в 4 рази більший за попередній.

Технологія побудови квадратомічного дерева заснована на рекурсивному поділі квадрата на квадранти та підквадранти доти, поки всі підквадранти не стануть однорідними щодо значення зображення (кольору) або поки не буде досягнутий попередньо визначений найменший рівень розрізненості. Спочатку квадрат розміром на всю карту ділиться на чотири квадранти (рис. 7.16).

Якщо один із них виявляється однорідним (тобто містить комірки з одним і тим же значенням), то цей квадрант записується і більше не бере участі в діленні. Кожний із квадрантів, що залишився, знову ділиться на чотири квадранти і перевіряється на однорідність. Всі однорідні квадранти записуються, і кожний з тих, що залишився, знову поділяється та перевіряється.

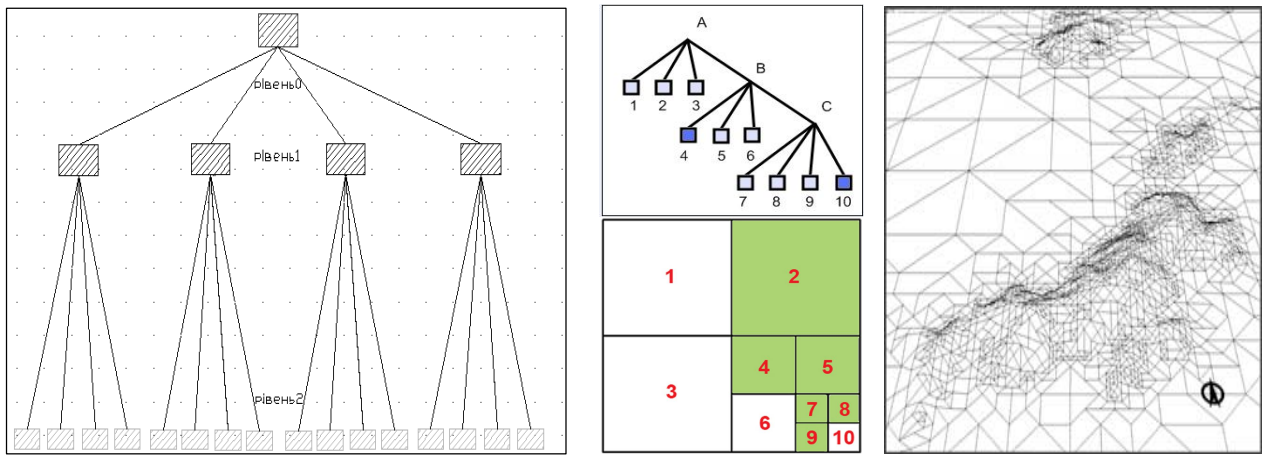


Рис. 7.16. Ієрархічні растрові структури даних у вигляді квадродерева

Процес поділу триває доти, доки вся карта не буде записана як множина квадратних груп комірок, кожна з яких матиме однакове значення атрибута всередині. Найменшим квадрантом буде найменша комірка растру [19].

Таким чином, особливістю квадродерев є те, що вони дозволяють зберігати й обробляти тільки значущі фрагменти растру. Перехід на нижчі рівні в квадродереві здійснюється лише для просторово неоднорідних комірок певного рівня. Якщо комірка є однорідною, вона кодується на даному рівні.

Саме це в поєднанні з жорстко заданою архітектонікою ієрархічної структури та відсутністю необхідності зберігати інформацію з незначущих фрагментів растру забезпечує значну економію машинної пам'яті. Крім цього, жорстка задана архітектоніка дозволяє здійснювати швидкий доступ до даних.

Квадродерева мають суттєві переваги порівняно з пірамідальними моделями, з точки зору накопичення та збереження просторової інформації. Крім того, жорстка архітектоніка цієї моделі дозволяє здійснити швидкий доступ до даних, що істотно скорочує витрати машинного часу.

7.5. Безструктурні гіперграфові моделі

Безструктурні гіперграфові²⁵ моделі обробляють координатні дані у вигляді простих рядків координат без будь-якої структури. У випадку обробки площ спільні границі полігонів завжди вводяться двічі. Прикладом практичного використання цих моделей є збереження в пам'яті комп'ютера повних полігонів і векторних ланцюгових кодів.

Приклад гіперграфа $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7\}$, $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4\} = \{\{v_1, v_2, v_3\}, \{v_2, v_3\}, \{v_3, v_5, v_6\}, \{v_4\}\}$, де V – непорожня множина об'єктів певної природи, що називаються вершинами гіперграфа, а E – родина непустих (необов'язково різних) підмножин множини V , що називаються ребрами гіперграфа, представлено на рис. 7.17 [88].

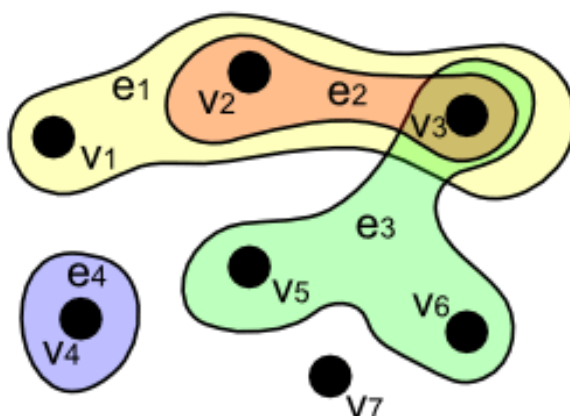


Рис. 7.17. Приклад гіперграфа

Гіперграфові моделі засновані на теорії множин і використовують шість абстрактних типів даних: "клас", "атрибут класу", "зв'язок класу", "об'єкт", "атрибут об'єкта", "зв'язок об'єкта".

Клас відповідає границі гіперграфа, причому об'єкти є вузлами цього графа. Кожний клас містить об'єкти з атрибутами об'єкта і розрізняваний вузол, який містить атрибут класу. Використовуючи підкласи, вводять ієрархію класів.

Зв'язки класів і зв'язки об'єктів встановлюють співвідношення між тими класами, які не пов'язані ієрархічно. Зв'язки класів відображають потенційні співвідношення між класами, а зв'язки об'єктів – дійсні співвід-

²⁵Гіперграф – узагальнений вид графа, в якому кожним ребром можуть з'єднуватися не тільки дві вершини, а й будь-які підмножини вершин.

ношення між об'єктами. Для утворення мультизв'язку потрібно об'єднати декілька зв'язків об'єктів. Декілька класів утворюють гіперкласи, які зв'язані гіперзв'язками.

Гіперграфові моделі можуть застосовуватись як для координатних, так і атрибутивних даних. Зазвичай, вони відрізняються високим ступенем складності.

7.6. Решітчасті моделі

Решітчасті моделі базуються на математичній теорії решіток, яка оперує частково упорядкованими наборами даних. Їх доцільно використовувати у тих випадках, коли відсутня чітка ієрархія об'єктів.

Елементи алгебраїчної теорії автоматних моделей синтезу типових конструктивних моделей дозволяють спростити процес отримання складних графічних зображень. Однак такий підхід, що широко застосовується в САПР, поки що не найшов широкого застосування в технологіях ГІС.

7.7. Джерела даних для растрових моделей

Перетворення растрових даних у цифровий вигляд відбувається шляхом їх сканування. Джерелами растрових даних для растрової моделі можуть слугувати:

- *фотозображення (image):* аеро- та космічні знімки території, фотографії об'єктів;
- *креслення, малюнки;*
- *топографічні карти; плани; схеми;*
- *конвертування з триангуляційних даних,*
- *растеризація векторних даних;*
- *тексти: документи; таблиці.*

7.8. Характеристики растрових моделей

Растрові моделі характеризуються *розрізненістю, орієнтацією, значенням (форматом запису), зонами, місцем розташування, геометрією растрів, координатами комірок, топологією комірок.*

7.8.1. Розрізненість

Розрізненість растрових моделей – величина, що відповідає мінімальним лінійним розмірам об'єкта, який може бути відображений у даній моделі та відображується одним пікселем.

Треба відрізнити розрізненість графічного файлу, яка наводиться в пікселях (точках) на дюйм (dot per inch), наприклад, 300 dpi, 600 dpi, і картографічну розрізненість (у пікселях на метр). Точність відповідності растрового об'єкта реальному просторовому об'єкту залежить від кількості пікселів, якими цей об'єкт представлений.

Примітка. Розрізненість у пікселях на метр по-різному може обчислюватись на зарубіжних і вітчизняних знімках, оскільки існують різні критерії обчислення точок на знімку.

Розрізненість растрового зображення залежить від розміру комірок. Чим вища розрізненість, тим більшу кількість пікселів містить зображення і, відповідно, менший розмір має кожний окремих піксель. Як наслідок, зображення з більш високою розрізненістю характеризується більшою кількістю деталей, більшою кількістю комірок, меншими розмірами комірок. Проте зменшення розміру комірки растрової моделі істотно збільшує об'єм даних, що зберігаються в комп'ютері, що відповідно вимагає більшої пам'яті комп'ютера. Наприклад, розрізненість 100 метрів означає, що об'єкти, розмір яких не перевищує 100 м у даній моделі, відображені не будуть, тобто зіллються з фоном. Оскільки за певних масштабів відображення фігури будуть нерозрізнені, то при створенні картографічної продукції важливо співвідносити масштаб планованої вихідної продукції і масштаб (реальну детальність) використовуваних растрових даних.

Ще один приклад. Коло може бути представлено 4 пікселями, а може бути представлено 1000 пікселями. Ні в першому, ні в другому випадку це зображення реальним колом не стане, але в другому випадку формально буде більш адекватно описувати реальний об'єкт.

Для різних задач використовуються різні розміри комірок (растри різної розрізненості). Наприклад, для дослідження використання землі (землі промисловості, землі багатоповерхової, середньоповерхової або малоповерхової забудови, землі рекреації) можуть бути використані комірки розміром 10x10 м, а для відображення ґрунтів – 50x50 м, для управління землекористуванням області – 5x5 км. Більш високу розрізненість має растр із меншим розміром комірок (рис. 7.17).

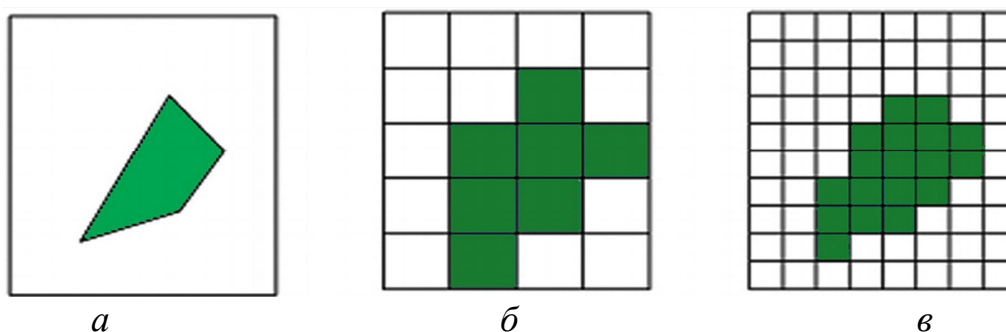


Рис. 7.17. Відображення географічного об'єкта різною просторовою розрізненістю: а – низька розрізненість; б – середня розрізненість; в – висока розрізненість

- У загальному випадку розрізненість растрової моделі визначають в:
- ppi (pixel per inch) – пікселях на дюйм;
 - dpi (dot per inch) – точках на дюйм;
 - lpi (line per inch) – лініях на дюйм.

За потреби оперувати різною просторовою розрізненістю застосовуються системи вкладених одна в одну територіальних комірок.

7.8.2. Орієнтація растрових моделей

Орієнтація растрових моделей – кут, що утворюється між напрямком на північ і положенням стовпчиків растру.

Орієнтування визначається кутом повороту растру відносно обраної системи координат у реальному земному просторі (геодезичній системі координат).

У растровій моделі просторова інформація кодується у вигляді прямокутної матриці – за рядками і стовчиками (рис. 7.18), тобто положення кожного елемента растру в просторі визначається номерами стовпчика і рядка, в яких розташований даний елемент.

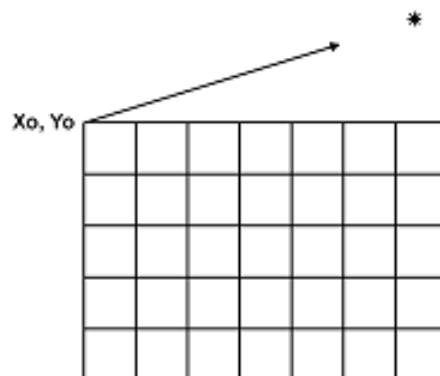


Рис. 7.18. Орієнтування растру

При растрезації картографічних зображень стовпчики зазвичай розташовують у напрямку *північ – південь*, а рядки – *захід – схід*. Початковою коміркою з координатами 0;0 або 1;1 найчастіше вважається комірка, що розташовується у верхньому лівому куті растру.

7.8.3. Кодування комірок растрової моделі

Значення растрових моделей (формат запису) – одиниця інформації, що зберігається в елементі растру (пікселі).

Коміркою фіксується елементарний об'єкт поверхні однорідної (гомогенної) властивості. Зазвичай кожна комірка растру або сітки (ґрида) має одне усереднене значення характеристики об'єкта.

У випадку, коли межа двох типів покриттів проходить через частину елемента растру, значення комірки може визначатись наступним чином: як середнє для усіх значень у комірці, переважне значення з усіх значень у комірці, значення в центроїді, значення в одному з кутів комірки. Це семантична інформація, що відноситься до пікселя (номер кольору в умовній системі).

Центроїд (англ. *centroid*) – **центральна точка багатокутника, яку використовують для поєднання графічної та атрибутивної інформації.**

Центроїдом може бути точка центру тяжіння (геометричний центр) фігури, внутрішня точка полігона зі значенням координат, одержаних, наприклад, усередненням координат усіх точок, що утворюють полігон. Центроїд слугує для ідентифікації полігона. У випадку невипуклого або складеного полігонів, що має в собі внутрішні полігони – "острови", анклав²⁶, положення центроїда може не співпадати з центром тяжіння полігона.

Кожна комірка растру описується трьома параметрами:

- 1) номер С колонки (Column);
- 2) номер R рядка (Row);
- 3) значенням V комірки (Value).

Ці параметри утворюють позиційну і змістову частину растрової моделі. Позиційна частина подається номером рядка і номером колонки (стовпчика). Змістова частина подається змістовим кодом – значенням, з яким може бути пов'язаний необмежений набір атрибутів.

Типи значень, що містяться в комірках растрової моделі, залежать як від типу географічних сутностей, що моделюються, так і від використовуваного програмного забезпечення ГІС. Різні системи дозволяють використовувати різні класи значень. Формат запису поділяють на:

- бітові (булеві);
- байтові;
- цілочисельні;
- реальні.

В бітовому форматі кожна комірка растру описується значенням 1 або 0 (чорний або білий). Такий формат потребує для запису значення комірки один біт. У байтовому форматі діапазон значень пікселя розширюється до $2^8=256$, а в цілочисельному і реальному форматах – до 16 і 32 біт відповідно. Наявність різних форматів дозволяє оперувати з величезною кількістю значущих класів, кожному з яких може відповідати рядок у базі даних.

Більшість систем, що працюють із растровими зображеннями, використовують для значень комірок тільки цілі числа, що ідентифікують клас території (рис. 7.19):

²⁶ **Анклав** (фр. *enclave* – від лат. *inclavare* – закривати на ключ) – територія або частина однієї держави, оточена з усіх боків територією іншої держави, або частина території однієї держави, яка не має спільних меж зі своєю материнською частиною і оточена територією іншої держави.

2	2	2	2	2
1	1	2	2	2
1	1	3	3	3
	1	3	0	0

Рис. 7.19. Кодування класів сутностей цілими числами:
 0 – відсутність об'єкта; 1 – сільськогосподарські землі;
 2 – лісові землі; 3 – автодороги

У більшості випадків із коміркою растру пов'язане тільки одне значення. Сукупність цих комірок зі зв'язаними значеннями утворюють *растровий шар*. База даних може містити декілька таких шарів, але вони повинні бути ідеально вирівняні. Кожний шар повинен сполучатись з іншими шарами. В усіх шарах повинна бути однакова кількість рядків і стовпчиків, і вони повинні відображати одне місце розташування об'єкта у просторі.

7.8.4. Растрове подання контурів територіальних одиниць

Територіальні утворення (зони, ділянки) – це комірки, які знаходяться поруч і мають однакові значення растру. Зоною можуть бути окремі об'єкти, природні явища, ареали типів ґрунтів, елементи гідрографії тощо (рис. 7.20).

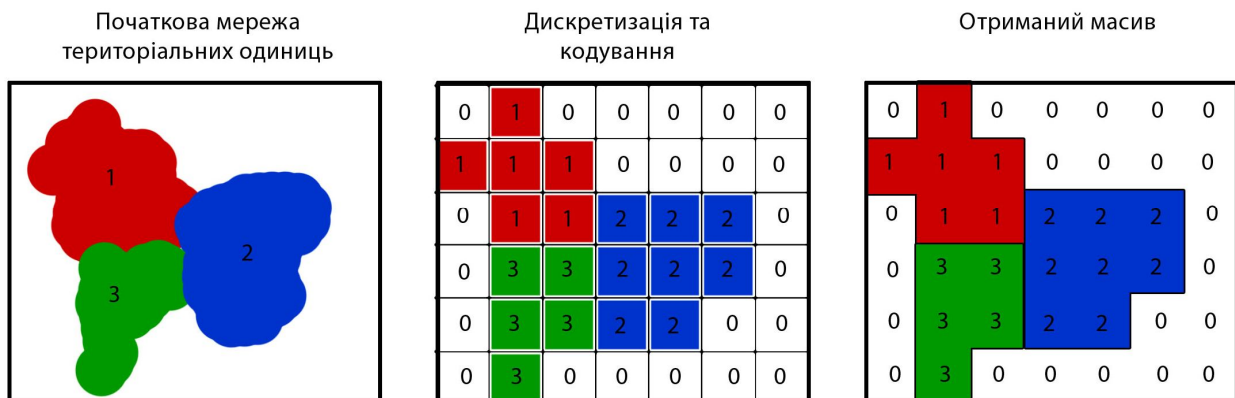


Рис. 7.20. Растрове подання контурів територіальних одиниць

Для визначення зон з одним і тим же значенням використовують термін "*клас зон*". Зрозуміло, що не в усіх тематичних шарах зображення

можуть бути зони, наприклад, якщо комірки растру містять значення, явища, які безперервно змінюються в просторі, то цей шар не містить зон.

Основні характеристики зони – її значення і положення.

Тип значень у комірках растру визначається як реальним явищем, так і особливостями ГІС. В одній зоні пікселі мають однакове значення.

Цілі числа можуть служити характеристиками оптичної щільності або кодами, що вказують на позицію в доданій таблиці або легенді. Наприклад, можлива така легенда, що визначає найменування класу ґрунтів:

- 0 – порожній клас;
- 1 – суглинні ґрунти;
- 2 – піщані ґрунти;
- 3 – щербенисті ґрунти тощо.

7.8.5. Місце розташування елементів растрових моделей

Місце розташування елементів растрових моделей – упорядкована пара координат (номер рядка і номер стовпчика), які однозначно визначають положення кожного елемента відображуваного простору у растрі. Зазвичай апріорно відомі реальні географічні координати декількох кутів растрового зображення.

7.8.6. Геометрія растрів

Геометрія растрів (форма, розмір, кількість комірок растру).

Растр зазвичай має прямокутну форму. Кожна комірка має прямокутну форму і розміри (див. рис. 7.3): ширину d_x та висоту d_y .

Растр утворюється комірками з n рядів і m стовпчиків (колонок). Загальна кількість комірок растру дорівнює $n \times m$. Растр має $n \times m$ центральних точок, $(n+1) \times (m+1)$ точок кутів. Ця відмінність між кількістю центральних точок і кількістю кутів часто ігнорується, вважаючи растр просто множиною комірок.

Растрові ряди і колонки орієнтуються за осями координат растру.

7.8.7. Визначення координат комірок

У системі координат растру для кожного растру вводиться або ліва система координат, якщо за початок відліку беруть верхній лівий кут, або права система координат, якщо за початок відліку беруть нижній лівий кут матриці (рис. 7.21).



Рис. 7.21. Система координат:
а – ліва; б – права

В растрових моделях повинна бути визначеність, тобто до якої саме точки просторової комірки відносяться координати.

Значення комірки може обиратися одним із трьох способів (рис. 7.22):

- значення агрегуються по всіх точках простору, що покриваються коміркою;
- значення вибираються з точки, що лежить у центрі комірки;
- значення вибираються з точок, які збігаються з вузлами сітки.

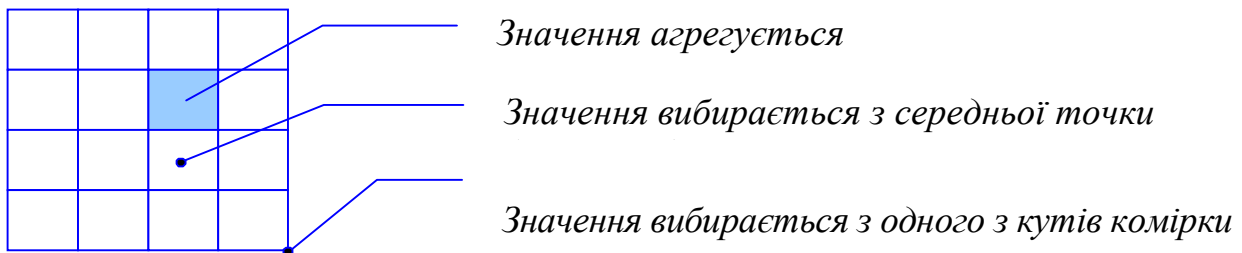


Рис. 7.22. Способи вибірки значень

Коли дані надходять зі стороннього джерела, то буває важко визначити, яким саме з трьох способів обрані значення комірок. Однак прийнято вважати, що для ДДЗ стандартним є перший спосіб, а для цифрових моделей місцевості – другий або третій.

Між другим і третім способом вибірки немає принципових розбіжностей, однак існує небезпека переплутати відповідність номерів рядків і стовпчиків растру з реальним місцем розташування у просторі. Якщо в растрі є m стовпчиків і n рядків, то при використанні другого способу є $n \times m$ центральних точок, а при використанні третього способу – $(n + 1) \times (m + 1)$ кутових точок.

На практиці розбіжність між способами вибірки значень комірки часто ігноруються і під растром розуміють масив комірок.

Якщо за початок растру беруть його верхній лівий кут з координатами x_0, y_0 , у цьому випадку кутові точки растру мають координати растру:

– нижня ліва точка:

$$x_0, y_0 + n d_y,$$

– верхня права точка:

$$x_0 + m d_x, y_0,$$

– нижня права точка:

$$x_0 + m \cdot d_x, y_0 + n \cdot d_y.$$

Верхній лівий кут комірки у стовпчику i та рядку j має координати растру:

$$x_i = x_0 + (i - 1) \cdot d_x,$$

$$y_j = y_0 + (j - 1) \cdot d_y.$$

Центральна точка комірки у стовпчику i та рядку j має координати растру:

$$x_i = x_0 + (i - 0.5) \cdot d_x;$$

$$y_j = y_0 + (j - 0.5) \cdot d_y.$$

Для визначення координат комірок у геодезичній системі координат повинні бути отримані геодезичні координати верхнього лівого кута растру x_0, y_0 .

При куті орієнтування растру α геодезичні координати верхнього лівого кута комірки в рядку i та стовпчику j обчислюються за формулами перетворення координат:

$$X_i = X_0 + x_i \cdot \cos \alpha - y_j \cdot \sin \alpha;$$

$$Y_j = Y_0 + x_i \cdot \sin \alpha - y_j \cdot \cos \alpha.$$

7.8.8. Визначення екстену регіону

Для визначення об'єму даних використовується екстент²⁷ (просторове охоплення) регіону, що моделюється. При цьому кількість стовпчиків і рядків визначається в два кроки:

1) визначення розмірів регіону за напрямками координатних осей згідно з формулами:

²⁷Термін "extent" не має загально визнаної передачі в українській та російськомовній геоінформаційній термінології. Під екстентом будемо розуміти ділянку, відображану в поточний момент у вікні перегляду карти ГІС або у вікні перегляду системи обробки зображень (<http://datageo.info/dict/show2.php?id=1577>).

$$\Delta X_{\min, \max} = X_{\max} - X_{\min};$$

$$\Delta Y_{\min, \max} = Y_{\max} - Y_{\min}.$$

2) обчислення необхідного числа n рядків та m стовпчиків за формулами:

$$m = \Delta X_{\min, \max} / d_x;$$

$$n = \Delta Y_{\min, \max} / d_y.$$

7.8.9. Визначення топології комірок растрів

Усі комірки, які не обмежують растр, мають 4 сусідні комірки (рис. 7.23).

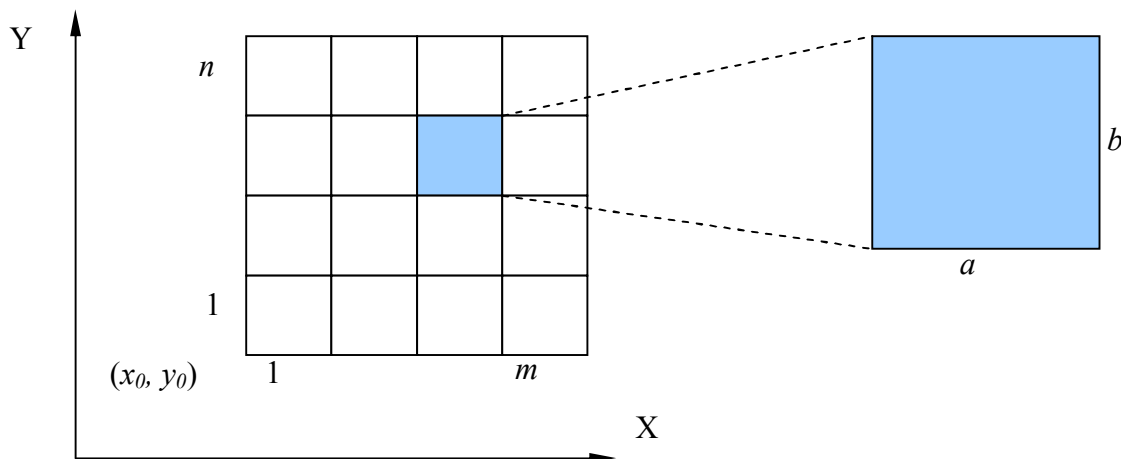


Рис. 7.23. Топологічна структура растру

Ці чотири сусідні комірки спільно використовують край комірки. Це сусідство називається сусідством за фон Нейманом.

Якщо у сусідні комірки включені діагональні комірки, то загальна кількість комірок буде дорівнювати 8. Таким чином, кількість комірок із повним набором 4 або 8 сусідів дорівнює:

$$k = (n - 2) \cdot (m - 2).$$

Крім цього, є комірки на межі, що мають тільки трьох сусідів. Кількість таких комірок дорівнює:

$$k = 2 \cdot (n - 2) + 2 \cdot (m - 2).$$

Нарешті, в кутах растру є 4 комірки тільки з 2 сусідніми комірками. На підставі викладеного загальна кількість комірок з різною кількістю сусідів дорівнює:

$$k = (n - 2) \cdot (m - 2) + 2 \cdot (n - 2) + 2 \cdot (m - 2) + 4 = n \cdot m.$$

Важливою характеристикою растру є нерозривний зв'язок між просторовою й атрибутивною інформацією у прямокутній матриці, положення елементів якої визначається номерами рядка і стовпчика.

Відлік координат растру – (x_0, y_0) . Є n рядків і m стовпчиків. Кожна комірка має розміри: a одиниць у ширину і b одиниць у висоту.

Кути растру визначаються як:

- верхній лівий кут: $(x_0, y_0 + n \cdot b)$;
- нижній правий кут: $(x_0 + m \cdot a, y_0)$;
- верхній правий кут: $(x_0 + m \cdot a, y_0 + n \cdot b)$.

Центральна точка й границі комірки у i -му рядку і j -му стовпчику визначаються як:

- $(x_0 + (j - 0,5)a, y_0 + (i - 0,5)b)$;
- $x_0 + (j - 1)a < x < x_0 + j \cdot a$;
- $y_0 + (i - 1)b < y < y_0 + i \cdot b$.

Якщо растр повернутий відносно координатних осей, ці характеристики визначити складніше.

В деяких ГІС, наприклад, в MapInfo, для прив'язки растрового зображення трансформується система координат, що з точки зору обчислювальної складності є більш простою задачею, ніж трансформація растру.

7.9. Використання растрів для зображення дискретних об'єктів

Растрова модель даних є просторово заповненою, оскільки кожне місце розташування досліджуваної території однозначно відповідає певній комірці растру. Інакше кажучи, растрова модель оперує елементарними місцями розташування.

Під час роботи з растровими моделями обробляються не конкретні об'єкти й контури, а групи пікселів. Кожна комірка (піксель) містить середнє значення (ідентифікатор), який характеризує ділянку поверхні об'єкта і до якого можна прив'язати необмежений за довжиною набір атрибутів.

Найважливішою властивістю растру є нерозривний зв'язок між просторовою й атрибутивною інформацією в єдиній прямокутній матриці, місцезнаходження елементів якої визначається номерами рядка і стовпчика.

Поєднання семантичної (атрибутивної) й позиційної (просторової) інформації є основною перевагою растрових моделей просторових даних, що одночасно обумовлює один з істотних недоліків – необхідність значних об'ємів пам'яті для збереження оцифрованих даних у комп'ютері. Наприклад, стандартний знімок штучного супутника Землі США серії Ландсат (Landsat), який охоплює приблизно 30 000 км² при номінальному розмірі пікселя 30x30 м, складається з 35 млн пікселів, що еквівалентно приблизно 35 Мбайтам при запису у форматі 1:1. Однак у зв'язку зі зростанням потужностей комп'ютерів та наявної в них пам'яті ця проблема стає все менш суттєвою.

Шари растрової інформації для бази даних ГІС можуть бути підготовлені вручну – шляхом кодування інформації для кожної комірки растру і введення в комп'ютер за допомогою текстового редактора або електронних таблиць. Однак виконання такої роботи досить трудомістке і реально може бути здійснено лише при розмірі растру в декілька десятків або сотень елементів, які не є характерними для сучасних ГІС.

Як свідчить досвід, розрізненість задач, пов'язаних з оцінкою динаміки речовинних потоків в агроландшафтних системах, які використовуються в ГІС, не повинна перевищувати 20x20 м. Нескладно підрахувати, що у цьому випадку для ділянки території 10x10 км растр буде мати розмір 500x500 і містити 250000 комірок. Цифрова ж модель Землі ETOP05, створена Національним центром геофізичних даних США [42], містить понад 9 млн позначок поверхні в комірках розміром 5x5 мінут за широтою і довготою. Зрозуміло, що за таких обсягів можливі тільки автоматичні засоби підготовки растрових моделей просторових даних, тобто за допомогою сканерів, а також за допомогою комп'ютерної растеризації векторних зображень.

При растровій формі подання даних розподіл даних на просторові й атрибутивні є необов'язковим. У зв'язку з цим немає потреби застосовувати засоби збереження й обробки атрибутивних даних, характерних для векторної моделі, а це істотно спрощує аналітичні операції.

Реалізуються растрові моделі у вигляді файлу зображення, у заголовку якого вказуються дані про географічні координати і проекції зображення. Прикладами геоінформаційного растрового формату можуть служити файли типу .img компаній ERDAS або GeoTIFF.

Растри найчастіше асоціюються з поданням полів. Однак можна також використовувати растр для подання множин дискретних об'єктів. Наприклад, у растровому шарі, що має цілі значення комірок, "1" означає об'єкт, а "0" – відсутність об'єкта. При цьому повинні бути встановлені правила, що визначають належність об'єкта дискретному растровому шару:

– правило "більшості" – коли об'єкт займає понад 50 % площі, що покривається коміркою, значення комірки дорівнює "1";

– правило "центральної точки" – коли в центральній точці комірки є об'єкт, значення комірки дорівнює "1";

– правило "перетинання" – коли об'єкт лежить на території, що покривається коміркою, її значення дорівнює "1".

Оскільки комірка растру може перетинати будь-яку кількість об'єктів, то можна зберігати певну кількість об'єктів у кожній комірці. Інше рішення – визначити ідентифікатори для об'єктів. Тоді комірка зі значенням "0" буде означати відсутність об'єктів, а комірки з іншим значенням будуть означати наявність об'єкта з ідентифікатором, що дорівнює значенню комірки. Якщо на територію, що покривається коміркою, потрапляє декілька об'єктів, значення ідентифікатора береться від об'єкта, що має більшу площу перетинання. Таким чином, ідентифікатор об'єкта служить для зв'язку растру з таблицею об'єктів.

У більшості випадків значення, визначене для комірки растру, не є правильним для усієї території, що покрита коміркою.

Змішана комірка – комірка, якій відповідають декілька класів об'єктів.

У деяких растрових базах даних є можливість зберігати декілька значень у комірці одного шару, що дозволяє кодувати належність комірці декількох об'єктів. Однак ця опція у сучасному програмному забезпеченні растрових ГІС майже не застосовується.

7.10. Використання растрів для зображення безперервних поверхонь

Подання безперервних поверхонь – одна з найбільш потужних можливостей растрових ГІС. Визначають два типи поверхонь (полів) (рис. 7.24):

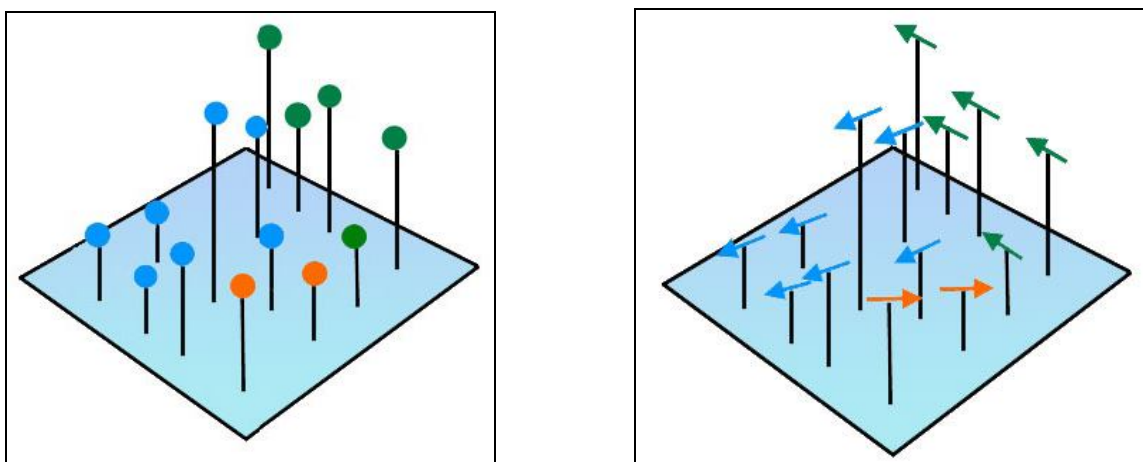


Рис. 7.24. Скалярні та векторні поверхні

- скалярні поверхні, що мають у кожній точці одне значення – магнітуду²⁸;

- векторні поверхні мають у кожній точці магнітуду й напрямок.

Скалярне значення – число, наприклад, піднесення над рівнем моря. Векторне значення має кількісну характеристику і напрямок. Векторне поле є одним з прикладів багатокomпонентної поверхні, значення якої може бути виражено двома растровими шарами. Наприклад, в ArcInfo існує різниця між двома видами феноменів, що відображаються безперервними поверхнями (рис. 7.25).

Перший з них відображає вимірювання рівнів, що змінюються, концентрацій, температур тощо. Другий тип представляє відношення між точками простору та феноменом. Наприклад, карти вітрів, витоку нафти, поширення епідемії.

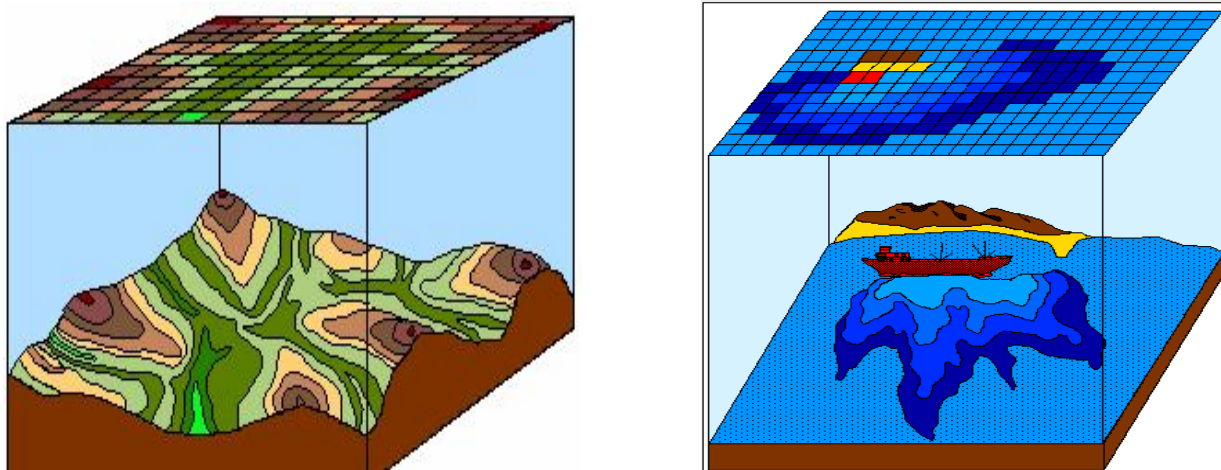


Рис. 7.25. Скалярні та векторні поверхні в ArcInfo

7.11. Збереження растрових даних

Растрові моделі застосовуються для збереження й обробки даних дистанційного зондування, для створення й аналізу цифрових моделей поверхонь при візуалізації геоданих тощо.

Для збереження растрових даних існує багато варіантів кодування растрових структур. Деякі з них більш економно використовують пам'ять, інші дозволяють отримувати більш швидкі алгоритми обробки даних. Розглянемо найбільш поширені з них.

Спосіб повного подання (exhaustive representation) – це послідовне уведення даних комірки за коміркою. Растрове зображення розкладається

²⁸Магнітуда (magnitude) – умовна величина, що характеризує загальну енергію (сила, розмах) пружних коливань, викликаних землетрусами або вибухами.

за рядками "вгорі – ліворуч". При такому алгоритмі сканування в кінці кожного рядка відбувається стрибок на початок наступного рядка. Тобто двовимірне комірчасте зображення зберігається в пам'яті комп'ютера у вигляді одномірної послідовності значень (рис. 7.26).

1	1	4	4	4	4	Комірка	Значення
2	2	2	1	1	1	1	1
2	2	3	1	1	2	2	1
3	3	3	3	2	2	3	4
3	1	1	1	4	2	4	4
1	1	1	4	4	4	5	4
1	1	4	4	4	4	6	4
						7	2
						8	2
					
						41	4
						42	4

Рис. 7.26. Спосіб повного подання растрових даних

Це найпростіший спосіб уведення даних. Недоліками цього підходу є вимоги великого об'єму пам'яті в комп'ютері й значного часу для організації процедур введення-виведення. Наприклад, знімок штучного супутника Землі Lansat має 74 000 000 елементів растру. Це вимагає величезних ресурсів для збереження даних.

При растровому введенні інформації в ГІС виникає проблема її стиснення, оскільки поряд з корисною інформацією може потрапляти й надлишкова (у тому числі й несуттєва) інформація.

Спосіб послідовного кодування (*run-length encoding*) заснований на фіксуванні повторюваного значення й позиції – номера колонки з останнім цим значенням (рис. 7.27).

1	1	4	4	4	4	Значення	Позиція	Значення	Позиція	Значення	Позиція	Значення	Позиція
2	2	2	1	1	1	1	2	4	6	-	-	-	-
2	2	3	1	1	2	2	3	1	6	-	-	-	-
3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	1	5	2	6
3	1	1	1	4	2	3	4	2	6	-	-	-	-
1	1	1	4	4	4	3	1	1	4	4	5	2	6
1	1	4	4	4	4	1	3	4	6	-	-	-	-
						1	2	4	6	-	-	-	-

Рис. 7.27. Спосіб послідовного кодування

7.12. Перспективи застосування растрових моделей

Історія застосування растрового способу подання просторових даних має декілька періодів. На початку розвитку ГІТ надавалася перевага растровому способу, оскільки ще не були розвинені засоби введення векторної інформації й алгоритми маніпулювання векторними даними. Тому геоінформаційні проекти орієнтувалися на растрове подання інформації у вигляді вкладених одна в одну регулярних матриць різної просторової розрізненості. Кожна комірка такої матриці містила необхідний (іноді достатньо значний) об'єм тематичної інформації.

З розвитком апаратної та програмної частин ГІС набув популярності векторний спосіб подання географічних даних, що активно використовувався в галузі картографії, в основному завдяки зменшенню вимог до апаратної частини проектів і запозиченню методів із програм інженерної графіки. В цей період різко зросла кількість проектів, що називалися геоінформаційними, але які виконувались на рівні складних інженерних розробок засобами і методами САПР.

Однак підвищення якості презентації рішень інженерно-технічних задач на місцевості з використанням прийомів автоматизованої картографії і САПР призвело до вихолощування сутності просторового аналізу методами ГІС і, досить часто, до підміни понять. Тому растрове подання просторової інформації залишилося тільки в системах обробки ДДЗ як невід'ємної частини технології отримання просторової інформації, досягши в цьому секторі ГІТ значного прогресу.

У зв'язку з підвищенням ролі екологічного фактора в життєдіяльності суспільства намітилися серйозні зміни пріоритетів розвитку технічної і наукової думки. Перед фахівцями з усіх галузей знань, особливо наук про Землю, були поставлені завдання з аналізу функціонування техногенних систем у природному середовищі, контролю якості навколишнього середовища, моніторингу стану природних і антропогенних об'єктів. Для того щоб підвищити розрізненість таких задач у ГІТ, активно застосовується математичне моделювання. Потік даних, які безперервно фіксують розподілені характеристики і явища, значно зріс. Ці дані більш доцільно представляти саме у вигляді растрових моделей.

В ГІТ через систему наук про Землю прийшли поняття ядерноекотонної структури природних і антропогенних геокомплексів, в яких відсутнє поняття різких меж, характерне для векторних моделей даних. Усе ширше застосовуються методи аналізу просторових об'єктів на основі статистичних характеристик, дескриптивних множин, нечітких класифікацій і параметризацій, формалізовані у вигляді алгоритмів обробки саме растрових моделей даних.

Завдяки можливості порівняння, зручності використання аналітичних алгоритмів обробки просторової інформації в різних форматах був

зроблений висновок про перевагу растрового подання даних у геоінформаційних проектах для аналізу інформації та підтримки прийняття рішень. Тому растровий спосіб подання геоданих переживає зараз підйом на якісно новому рівні використання в ГІТ.

Крім того, у всьому світі переглядається ставлення до використання растрових моделей у поданні інформації користувачеві.

Якщо раніше використання тематичних растрових шарів у ГІС зводилося до ролі пасивної основи, завдання якої полягало в тому, щоб прикрасити й "оживити" зовнішній вигляд вихідного зображення, то нині тематичні растрові шари стали важливими наочними джерелами інформації про простір.

Зокрема, інформація про температуру поверхні з локальними мінімумами і максимумами, показники віддаленості та часу досягнення різних об'єктів із певної точки місцевості, безперервно мінливі характеристики навколишнього середовища (щільність ґрунту, лісопокриття території, ступінь прохідності боліт, загазованість міського середовища тощо) найбільш точно і достовірно представляються саме в растровому вигляді.

До переваг растрових моделей можна віднести швидкість формалізації і подання матеріалів у машинозчитуваному вигляді. Сучасні способи отримання цифрових аеро- і космічних фотознімків дають можливість подання геоданих у системі реального часу без застосування тривалих і трудомістких робіт з шифрування даних у векторний формат або використання дорогих напівавтоматичних векторизаторів.

Недоліком растрового подання інформації є значний об'єм файлів, що позначається в основному на швидкості обробки інформації на комп'ютерах із невеликими розмірами оперативної пам'яті та часу виведення зображення на екран. Для подолання цих недоліків використовуються різні способи стискання (упакування) інформації від найпростішого групового, або лексикографічного коду (run length code), до створення ієрархічної пірамідної структури (pyramid layers, reduced resolution datasets), або організації зблокованої структури з прямим доступом до кожного блоку – невеликої квадратної ділянки зображення (tiled format).

Для прискорення і спрощення візуалізації застосовуються способи попереднього створення зображень, які загрублюються в 2–6 разів, зі збереженням їх в окремих файлах і можливістю виклику тематичного шару необхідного закругіння залежно від потрібної операції.

7.13. Недоліки та переваги растрових моделей

До недоліків растрових моделей відносять:

– географічні об'єкти характеризуються менш точною інформацією про місце розташування та менш точною інформацією про їх розміри;

- растри потребують більших обсягів пам'яті комп'ютера;
- регулярна структура не пристосована до змін складного рельєфу;
- розриви безперервності передаються недостатньо добре;
- втрачаються точні місця розташування точок вершин і дна.

Подання географічних об'єктів растровими моделями має такі переваги:

- це проста модель;
- растр відображує безперервно охоплювану територію;
- растрові дані простіші для обробки та забезпечують більш високу швидкодію;
- введення растрових даних є менш трудомістким процесом.

VIII. ВЕКТОРНІ МОДЕЛІ ПОДАННЯ ДАНИХ У ГІС

*Існує разюча можливість оволодіти предметом математично, не зрозумівши суті справи.
Альберт Ейнштейн*

Земний простір є безперервним, а для його подання в ГІС використовуються моделі даних, які ґрунтуються на наборах дискретних об'єктів і поділяються на дві групи – растрові та векторні.

Векторні (об'єктні) моделі ГІС будуються на векторах, що займають частину простору, на відміну від растрових моделей, які займають увесь простір.

При побудові векторних моделей створюються цілісні об'єкти шляхом з'єднання точок прямими лініями, дугами кіл, полілініями. Тому векторні моделі називають об'єктними. Складовими частинами векторної моделі є геометричні об'єкти (точки, лінії, полігони), атрибути (ознаки, пов'язані з об'єктами) та зв'язки між цими об'єктами.

Саме векторні подання даних (векторні моделі) домінують на сучасному етапі розвитку геоінформаційних технологій. Це зумовлено можливістю масштабування зображення. Крім того, векторні файли займають менше місця у зовнішній пам'яті комп'ютера.

8.1. Загальні відомості про векторні моделі

Вектор у математиці та фізиці – величина, яка характеризується своїм числовим значенням і напрямком, вектор у ГІС – відрізок прямої, якому присвоєно певний додатний напрямок і який характеризують *початок, кінець та довжина*. Вектор може бути *вільним і невільним*. Припустимими операціями над векторами є додавання, віднімання, добуток (скалярний, векторний, змішаний).

Векторним способом подання просторових даних (векторною моделлю) називають спосіб формалізації просторових координованих даних, що ґрунтується на використанні набору геометричних примітивів (точок, ліній, дуг, полігонів).

Основу векторного методу формалізації просторових даних (побудови векторної моделі) складає *точка* (point) – місце розташування первинного графічного елемента, координати (x, y) якої апріорно²⁹ відомі з певною

²⁹**Апріорі** (лат. a priori – незалежно від досвіду). Переносно – без перевірки, наперед. Апріорні знання – знання, наявні у свідомості людини, які не залежать від досвіду.

точністю. Форма або образ просторового об'єкта подаються точками, поміщеними в місця, де ця форма змінюється.

Дві точки з координатами (x_1, y_1) і (x_2, y_2) формують другий графічний примітив – *лінію* (line), відрізок прямої, що з'єднує ці точки, а замкнена послідовність ліній формує *полігон*³⁰ (polygon) – третій елементарний графічний примітив.

Векторне подання даних легко зрозуміти на прикладі операцій типу "з'єднай точки", які більшість з нас виконували у дитинстві. Саме з поданням лінійних об'єктів у вигляді послідовності утворюючих їх точок і пов'язане первісне поняття векторного формату: будь-яка крива може бути описана із заданою точністю за допомогою сукупності відрізків прямих – *векторів*.

Векторна модель найкраще підходить для опису дискретних об'єктів з чітко вираженнями формами і межами:

- природні утворення (річки, рослинність);
- штучні споруди (дороги, трубопроводи, будівлі);
- елементи поділу земної поверхні (квартали, земельні ділянки, політичні утворення).

У низці випадків безперервно змінювані явища (висота, температура, атмосферний тиск), які не мають реальних чітких меж, також подаються у вигляді дискретних векторних об'єктів за допомогою графічних примітивів (рис. 8.1):

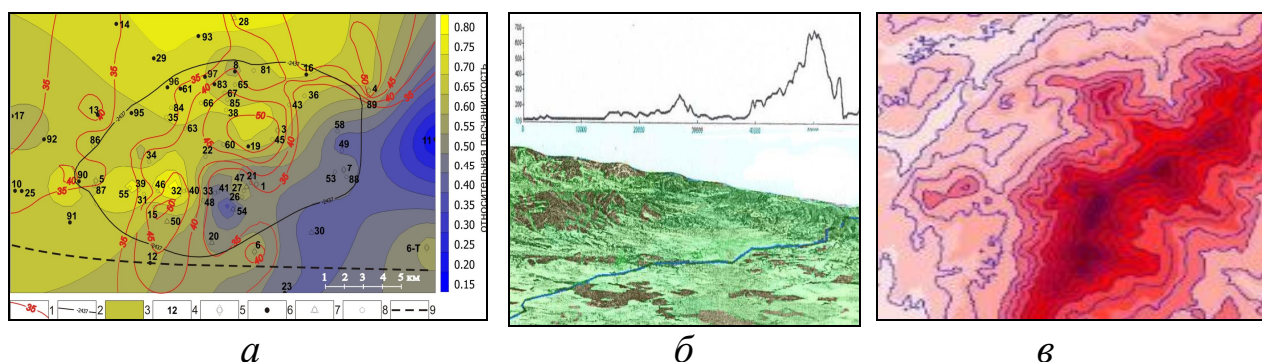


Рис. 8.1. Подання безперервно змінюваних явищ:
а – точками; б – профілями; в – полігонами

- **точок** – завдання точкових значень, виміряних у певних характерних пунктах (метеостанції, пости, висотні позначки);
- **ліній** – створення профілів перетину поверхні; побудова ізоліній (наприклад, горизонталей для відображення рельєфу);
- **полігонів** – поділ площі на зони, всередині яких значення вважається величиною постійною.

³⁰Полігон (від грец. πολύγωνος – багатокутний) – багатостороння фігура.

Для формування векторних моделей використовуються координати, які показують місце розташування географічних об'єктів у реальному земному просторі: географічні координати на сфероїді (широта, довгота) або декартові координати на площині (cartesian coordinate system), що отримані в певній картографічній проекції.

Декартова система координат задається точкою початку координат й упорядкованою парою неколінеарних (базисних) векторів, що виходять з цієї точки. Прямі, що проходять через початок координат у напрямку базисних векторів, називають *осями координат* (axis of coordinate). Перша вісь, що визначається вектором Ox , називається *віссю абсцис* (axis of abscissa), друга, що визначається вектором Oy , – *віссю ординат* (axis of ordinates).

Декартовими координатами точки M називається упорядкована пара чисел (x, y) , які є коефіцієнтами розкладання вектора OM за базисом (рис. 8.2 а).

Декартова система координат називається прямокутною системою координат (orthogonal coordinate system, rectangular coordinate system), якщо базисні вектори перпендикулярні та мають одиничну довжину (рис. 8.2 б).

Прийнято виділяти *праві* (sword coordinate system, right coordinate system) і *ліві* (left coordinate system) декартові системи координат.

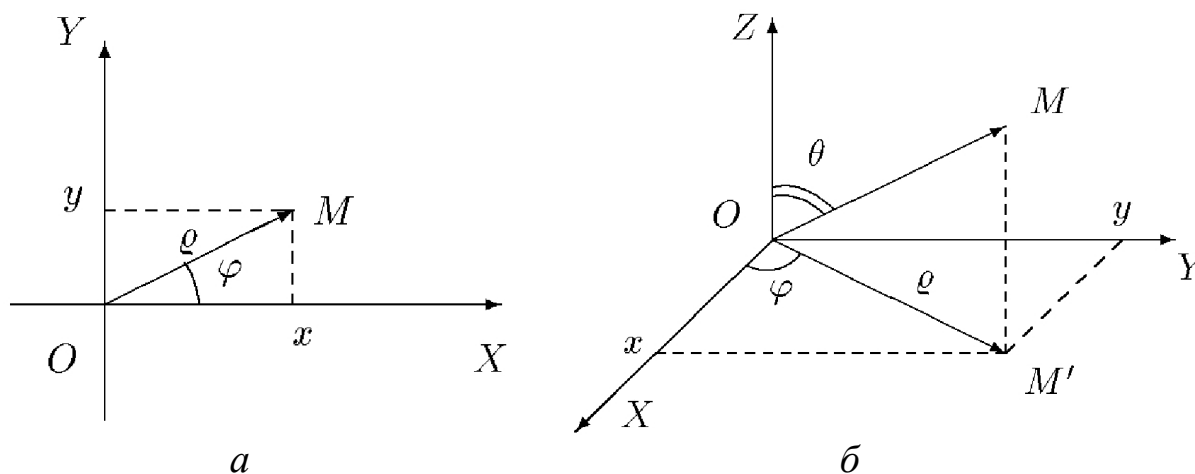


Рис. 8.2. Декартова система координат:
а – на площині; б – у просторі

Правою називається система координат, три осі якої розташовані таким чином, що якщо дивитися у додатному напрямку осі аплікат (z), то поворот від осі ординат (y) до осі абсцис (x) відбувається проти годинникової стрілки. Якщо поворот відбувається за годинниковою стрілкою, то система координат називається лівою.

8.2. Класифікація просторових даних, що використовуються у векторних ГІС

Просторові дані, що використовуються у векторних ГІС, поділяють на чотири класи: *безрозмірні, одновимірні, двовимірні і тривимірні*.

8.2.1. Безрозмірні об'єкти

До безрозмірних об'єктів відносяться *точка і вузол*.

Точка – об'єкт, що вказує на місце його розташування. Сукупність точкових об'єктів утворює точковий шар (рис. 8.3).

Точки використовуються для позначення геооб'єктів, для яких важливе розташування, а не їхня форма або розміри. Можливість позначення об'єкта точкою залежить від масштабу карти. У той час як на карті світу міста доцільно позначати точковими об'єктами, то на мапі міста саме місто представляється у вигляді безлічі об'єктів.

Доволі часто в ГІС замість точок використовуються символи (геометричні фігури невеликих розмірів – квадратик, гурток, хрестик або піктограми, що передають тип реального об'єкта (рис. 8.4)).

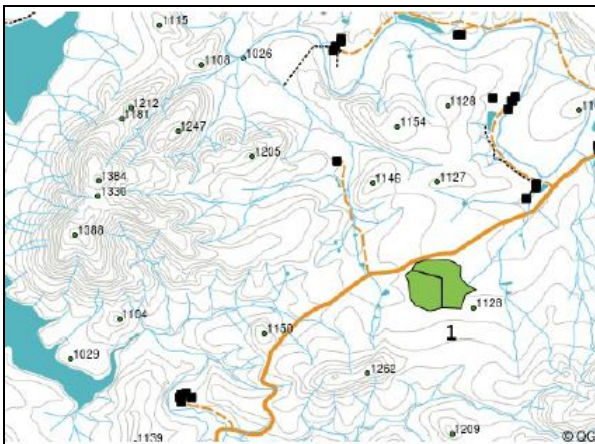


Рис. 8.3. Точковий шар

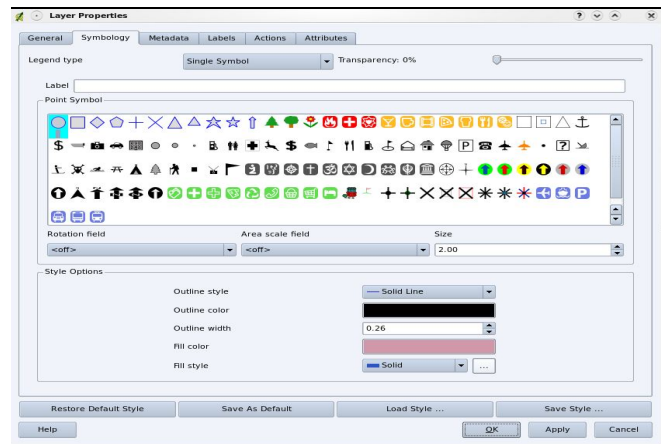


Рис. 8.4. Символи для позначення точкових об'єктів

Вузол (вершина) – топологічний перехід або кінцева точка, що визначає місце розташування геооб'єкта.

Вузли містять атрибути, які встановлюють топологічний зв'язок з усіма дугами, що замикаються на ньому.

На практиці для побудови реальних об'єктів використовують *висячий вузол, псевдовузол, нормальний вузол* (рис. 8.5).

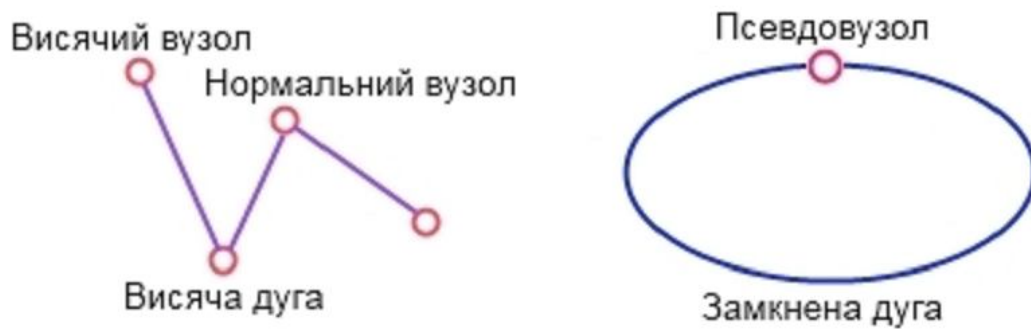


Рис. 8.5. Ілюстрація вузлів, що використовуються в ГІС

Висячий вузол – вузол дуги, яка не з’єднується з будь-якою іншою дугою.

Вузли, що утворені перетинанням двох і тільки двох дуг або замиканням на себе однієї дуги, мають назву псевдовузлів (pseudo node).

Нормальний вузол – вузол, що належить трьом і більше дугам.

8.2.2. Одновимірні об’єкти

До одновимірних об’єктів відносяться *лінія, лінійний сегмент, ряд, зв’язок, спрямований зв’язок, ланцюг, кільце* (рис. 8.6).

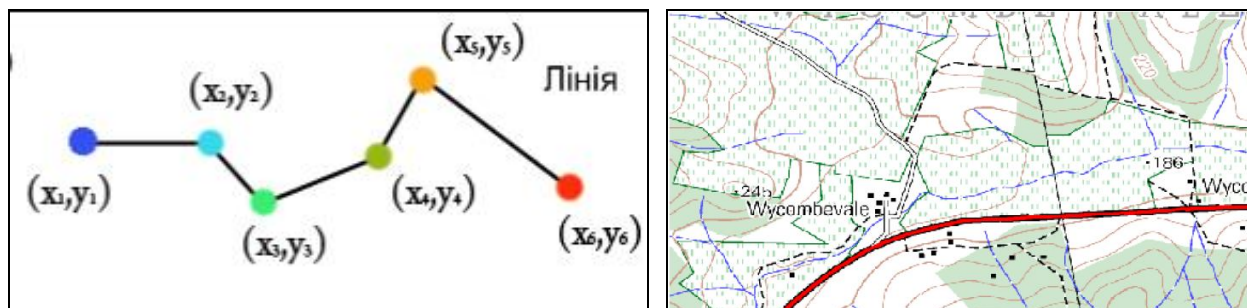


Рис. 8.6. Ілюстрація одновимірних об’єктів

Лінія – одновимірний об’єкт, що не має опорних точок.

Лінійний сегмент – пряма лінія, що з’єднує дві точки (відрізок).

Ряд – послідовність прямолінійних сегментів.

Дуга (ребро) – послідовність сегментів, що має початок і кінець у вузлах.

Зв’язок – з’єднання між двома вузлами.

Спрямований зв’язок – зв’язок в одному напрямку.

Ланцюг – спрямована послідовність лінійних сегментів, що не перетинаються, або дуг з вузлами на своїх кінцях.

Кільце – послідовність ланцюгів, рядів, зв’язків або замкнених дуг.

8.2.3. Двовимірні об'єкти

До двовимірних об'єктів відносяться *область, внутрішня область, полігон* (рис. 8.7).

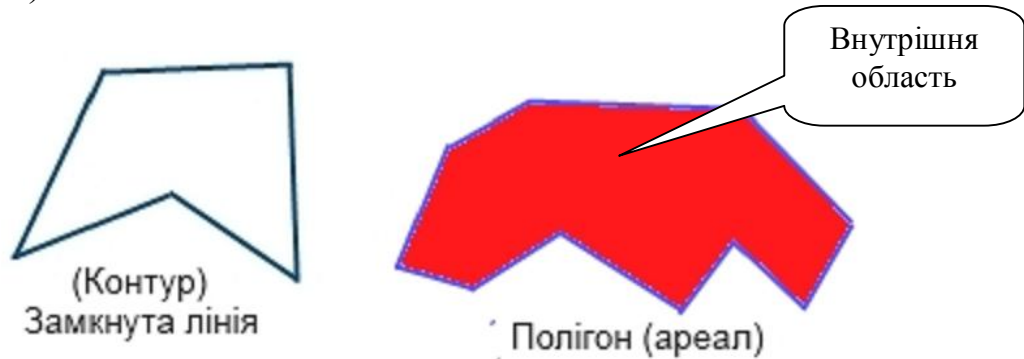


Рис. 8.7. Ілюстрація двовимірних об'єктів

Область – безперервний об'єкт, який має певні межі.

Внутрішня область – область, яка не має власної межі.

Полігон (багатокутник, ареал, контур, область) – двовимірний (площинний) об'єкт, у якого внутрішня область утворена замкненою послідовністю дуг.

Сукупність полігонів утворює полігональний шар.

8.2.4. Тривимірні об'єкти

До тривимірних об'єктів відносяться *об'ємне геометричне тіло, що має три виміри (довжину, ширину, висоту)*.

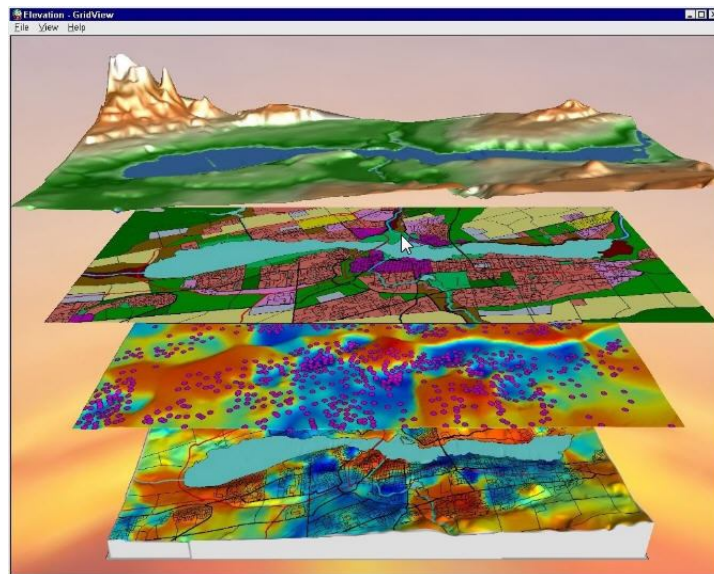


Рис. 8.8. Ілюстрація тривимірного об'єкта

8.3. Подання просторових об'єктів у векторній моделі

Векторна структура – це подання просторових об'єктів у вигляді набору векторів (координатних пар), що описують геометрію об'єктів.

При роботі з паперовою (аналоговою) картою користувачі мають справу з координатами, які використовуються для вимірювання відстаней на карті, або визначають координати за допомогою лінійки. Проте на картах реальні координати спроектовані на площину. Ці координати вказують на реальні місця земної поверхні в певній системі координат, що визначаються різними картографічними проєкціями. Місце розташування кожного об'єкта на карті описується рівнянням:

$$F = f(x, y, z, n_1, n_2, \dots, n_n),$$

де: x, y – координати точок, які визначають місцезнаходження об'єкта;

z – висота об'єкта над рівнем моря;

n_1, n_2, \dots, n_n – атрибутивні дані об'єкта.

У векторній моделі подання географічних (просторових) об'єктів виконується за допомогою відображення їх геометричної форми на двовимірній площині з використанням елементарних графічних примітивів (рис. 8.9):

- точок (нульмірних векторів);
- ліній (поліліній, утворених плоскими двовимірними векторами);
- областей (форм, обмежених полігонами – замкненою послідовністю двовимірних векторів). Геооб'єкти, що подаються областями, називають *полігональними об'єктами*.

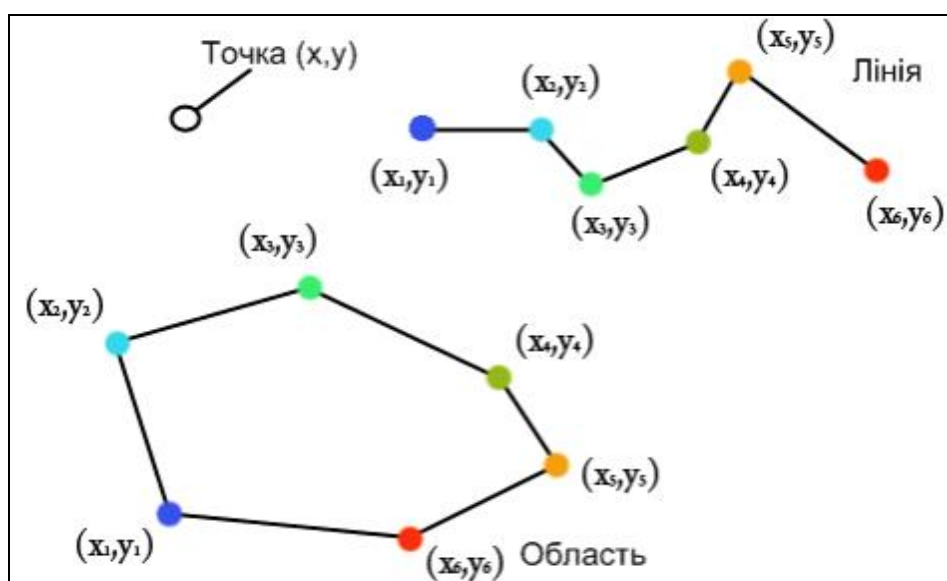


Рис. 8.9. Векторне подання геооб'єктів графічними примітивами

Для визначення положення об'єктів на карті з місцями земної поверхні використовується декартова система координат (x, y) . Кожна точка визначається однією парою координат (x, y) . Лінії або дуги описуються впорядкованою системою координат (x, y) , фігури – послідовністю координат (x, y) відрізків ліній, які визначають відрізки ліній, що обмежують фігуру.

Користуючись координатною системою, можна подати точки, лінії і полігони у вигляді списку координат, а не малюнка або креслення. На рис. 8.10 пари координат $(2,2)$ описують положення точки, пари координат $(1,7; 3,5; 5,5; 5,3; 9,3)$ – лінію (дугу), а пари координат $(3,10; 6,9; 7, 10; 10,7; 9,5; 4,6; 3,8; 3,10)$. Збіг першої і останньої пари координат означає, що полігон замкнений.

Перша й остання пари координат полігона однакові, оскільки полігон завжди замкнений. Ці списки координат показують, яким чином об'єкти карти зберігаються комп'ютером у вигляді наборів пар чисел x, y .

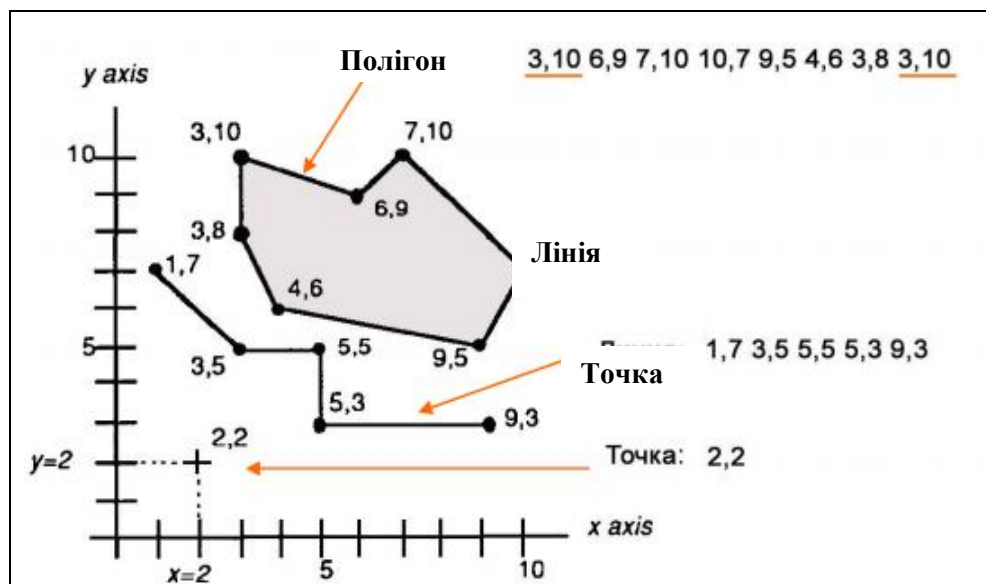


Рис. 8.10. Подання об'єктів у векторній формі

Власне, звідси і походить термін "цифрування" (digitalization), який означає введення даних паперової карти в комп'ютер, тобто перетворення аналогових даних (analog data) на цифрові (digital data).

Концептуальним тут є те, що геооб'єкти у комп'ютері зберігаються як файли координатних пар (наборів). Табличні списки координатних пар є формою подання плоских цифрових файлів.

Реальні ГІС мають справу не з абстрактними лініями та точками, а з об'єктами, які включають лінії й ареали, що займають певне просторове положення і мають доволі складні взаємозв'язки. Тому повнофункціональна векторна модель даних ГІС повинна відображати просторові об'єкти як сукупність [22]:

- геометричних (метричних) об'єктів, поданих у вигляді точок, ліній і полігонів;
- атрибутів;
- зв'язків між об'єктами.

Кожному об'єкту векторного зображення може відповідати запис у базі даних, чим досягається прив'язка інформації до місцевості. За наявності двох або більше географічних об'єктів кожному з них присвоюється ідентифікаційний (порядковий) номер (рис. 8.11).

Ідентифікатор – унікальна характеристика просторового об'єкта, що присвоюється конкретному об'єкту користувачем або інформаційною системою і яка використовується для фіксації координатних та адресних даних просторових об'єктів.

Використання ідентифікатора відкриває широкі можливості для перегляду й аналізу просторової інформації, з'являється можливість прив'язки до об'єкта певної тематичної (атрибутивної) інформації, яка може міститись в одній чи декількох внутрішніх або зовнішніх базах даних.

Об'єкти у векторній моделі подаються у вигляді неупорядкованої послідовності записів, кожний з яких включає (рис. 8.12):

- ідентифікатор об'єкта;
- значення координати x ;
- значення координати y .

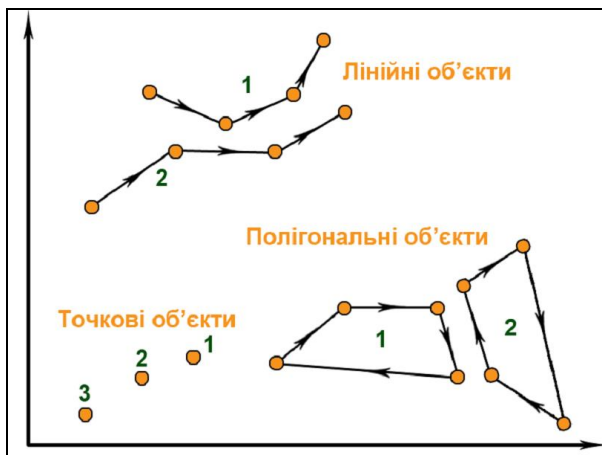


Рис. 8.11. Векторні моделі подання множини географічних об'єктів

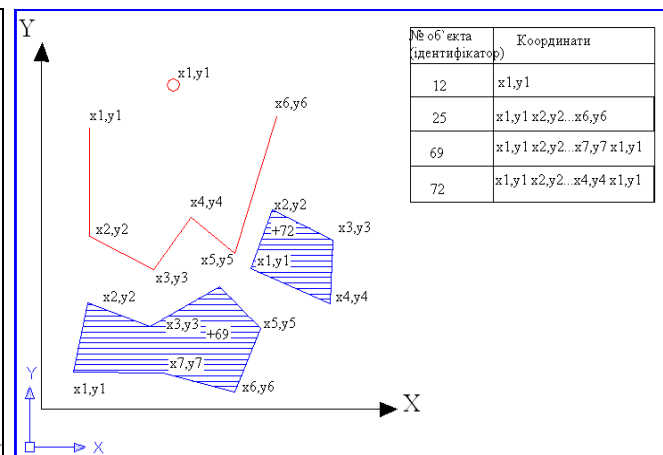


Рис. 8.12. Подання об'єктів у векторній формі з використанням ідентифікатора

На базі перерахованих вище графічних примітивів (точка, лінія, полігон) будується будь-яка векторна модель просторових даних. Цієї сукупності елементарних графічних об'єктів цілком достатньо для опису форми як лінійних, так і просторових картографічних об'єктів, які кодуються у вигляді сукупності координат точок, що апроксимують форму лінійного

об'єкта, наприклад, адміністративного кордону, русла річки або контуру (кордону) територіального об'єкта, території землекористування населеного пункту, басейну річки тощо.

Точкові геооб'єкти, зображені на рис. 8.11, подаються таблицею координатних пар, що представлені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1

Таблиця точкових географічних об'єктів

Номер географічного об'єкта	Координатні пари
1	X_1, Y_1
2	X_2, Y_2
3	X_3, Y_3

Лінійні геооб'єкти, зображені на рис. 8.11, подаються таблицею послідовностей координатних пар, що представлені в табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Таблиця лінійних географічних об'єктів

Номер географічного об'єкта	Координатні пари
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}, X_{24}, Y_{24}, X_{25}, Y_{25}$

Полігональні геооб'єкти, зображені на рис. 8.11, подаються таблицею послідовностей координатних пар, що представлені в табл. 8.3.

Таблиця 8.3

Таблиця полігональних географічних об'єктів

Номер географічного об'єкта	Координатні пари
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}, X_{11}, Y_{11}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}, X_{24}, Y_{24}, X_{25}, Y_{25}, X_{21}, Y_{21}$

Усю сукупність векторних моделей поділяють на два типи:

– *нетопологічні*, які не відображують зв'язків між об'єктами, а описують тільки їх геометрію (шейп-файли ArcView, модель "Спагети");

– *топологічні*, які дозволяють одержувати вичерпну інформацію про взаємовідношення між геометричними примітивами без зміни координат просторових об'єктів (векторна топологічна модель, модель DIME, модель "Дуга-вузол", геореляційна модель, TIN-модель, покриття ГІС ARC/INFO) [86].

8.4. Нетопологічні (прості) векторні моделі

8.4.1. Модель "Спагеті"

Метод подання лінійних об'єктів у вигляді неупорядкованого набору лінійних об'єктів, які описують тільки їх геометрію, отримав назву модель "Спагеті" (spaghetti model), оскільки не має апарату опису топологічних відношень між лінійними об'єктами та їх елементами. Такі подання, як відомо, називаються нетопологічними векторними моделями. На рис. 8.13 представлена модель "Спагеті", яка, по суті, переводить "один в один" графічне зображення карти.

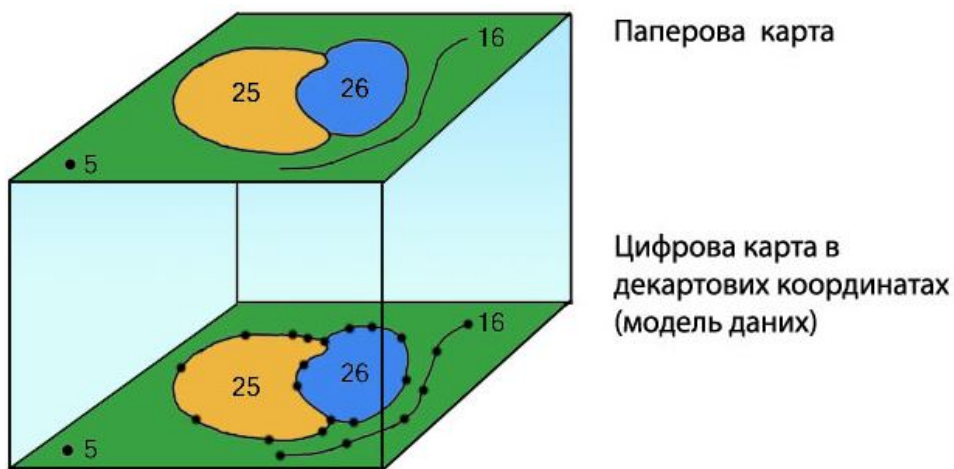


Рис. 8.13. Нетопологічна модель "Спагеті"

У цієї моделі відсутній опис відношень між об'єктами, а кожний геометричний об'єкт зберігається окремо і не пов'язаний з іншими, наприклад, межа об'єктів 25 та 26 (рис. 8.13) записується двічі за допомогою однакового набору координат. Усі відношення між об'єктами повинні розраховуватись незалежно, що ускладнює аналіз даних і збільшує обсяг інформації, яка зберігається в базі даних.

Опис сутностей спагетної моделі векторних даних, зображених на рис. 8.13, представлено в табл. 8.4.

Таблиця 8.4

Опис сутностей спагетної моделі векторних даних

Об'єкт	Номер	Положення
Точка	5	Одна пара координат (x,y)
Лінія	16	Набір пар координат (x,y)
Область (полігон)	25	Набір пар координат (x,y) , де перша і остання співпадають

Назва "спагетна" на перший погляд звучить дивно, хоча насправді вона досить точно характеризує суть моделі. Якщо уявити собі покриття кожного графічного об'єкта паперової карти у вигляді шматочків "спагеті", то кожний із них є примітивом: дуже короткі – для точок, більш довгі – для відрізків прямих, набори відрізків, з'єднаних кінцями, – для меж областей (полігонів). Тобто за допомогою примітивів ("спагеті") різної довжини можна описати будь-який просторовий об'єкт.

У цій моделі області, що межують між собою, мають різну довжину "спагеті" для опису загальних сторін. Не існує областей, для яких будь-який ланцюг "спагеті" був би спільним. Кожна сторона кожної окремої області має свій унікальний набір ліній і пар координат. Хоча зрозуміло, що спільні сторони областей, навіть будучи записаними окремо в комп'ютер, мають однаковий набір координат, що призводить до надлишковості внесеної до комп'ютера інформації внаслідок подвійного проходження по загальних для двох суміжних полігонів межах. Це спричиняє значне збільшення витрат часу на введення даних, а також появу двох меж просторових об'єктів, які не збігаються внаслідок неточностей позиціонування дигітайзера.

Ця модель подання векторних даних була характерна для початкового періоду розвитку ГІТ і не враховувала взаємного розташування просторових об'єктів (топологічність об'єктів), а отже, не дозволяла виконати багато видів аналізу.

8.4.2. Шейп-файли

Шейп-файл – це нетопологічна структура даних, яка не зберігає топологічні відношення в явному вигляді. Однак, на відміну від інших спрощених графічних структур даних, полігони у шейп-файлі подаються у вигляді однієї або декількох ланок (rings).

Ланка – це замкнута петля, яка не перетинається. За допомогою такої структури можна представляти складні (складені) структури (полігони, що містять у собі "острови" (пустоти)). Вершини ланки розташовуються (нумеруються) послідовно в напрямку за ходом годинникової стрілки, при цьому область справа за ходом руху вздовж межі ланки буде знаходитись усередині даного полігона, а область, що ліворуч, – за даним полігоном (рис. 8.14).

Оскільки полігональні об'єкти у форматі шейп-файлу можуть складатися з однієї або декількох частин, то в цьому форматі можуть бути подані об'єкти, що складаються з окремих частин, що не змикаються або які перекриваються. Наприклад, окрема земельна ділянка, що розділяється дорогою, може бути представлена або у вигляді двох окремих полігонів за допомогою двох ланок і двох записів у таблиці атрибутів, або як один полі-

гон, що складається з двох частин з одним записом у таблиці атрибутів. Через це частину користувачів може ввести в оману той факт, що використання деяких команд ArcView GIS може привести до створення просторово розрізаних об'єктів, які складаються з декількох частин.

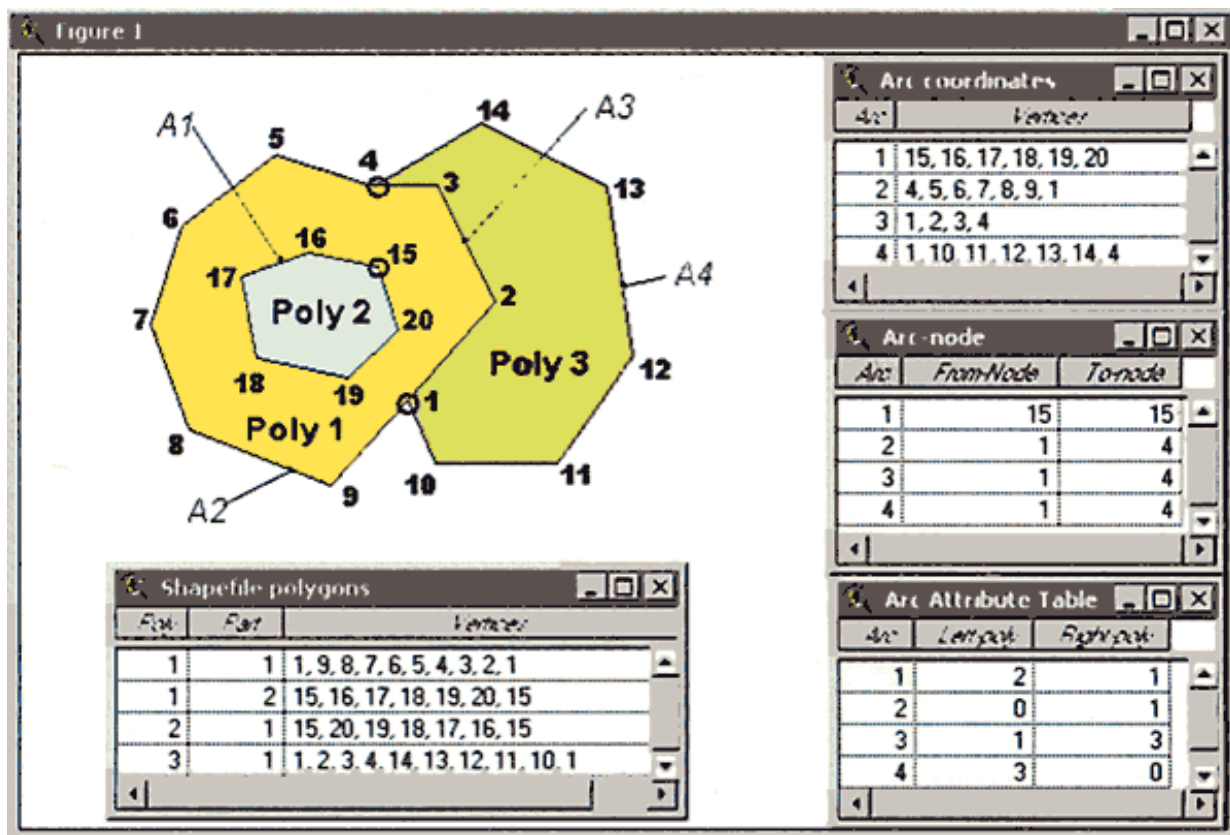


Рис. 8.14. Полігони в шейп-файлі

Головною перевагою шейп-файлів є те, що ця проста структура файлів забезпечує більш швидку візуалізацію порівняно з покриттями. Можливо, саме тому структура даних у вигляді шейп-файлів була розроблена для ArcView GIS – програмного забезпечення, первісно призначеного швидше для відображення даних, а не для їх аналізу. Крім того, шейпфайли легко копіювати, при цьому не потрібно їх експортувати, що вимагається для файлів формату *.e00*. Специфікація шейп-файлів доступна, і більшість програмних продуктів їх підтримують. Через це цими причинами шейп-файли стали провідним стандартом обміну геоданими.

Топологічні структури даних, що притаманні сучасним ГІС, забезпечують більш логічний (автоматизований) шлях для проведення цифрування, виправлення похибок і артефактів; дозволяють скоротити об'єм даних по полігонах, що зберігаються, оскільки межі між суміжними полігонами не дублюються; а це забезпечує ефективний просторовий аналіз таких відношень, як суміжність, зв'язність і включення.

Примітка. Поширеною оманю щодо шейп-файлів є те, що, використовуючи їх, неможливо знаходити суміжні об'єкти, оскільки топологія в них відсутня. Проте суміжні об'єкти можуть бути з легкістю виявлені за перетинанням цільових полігонів з іншими полігонами на тій же карті та ідентифікації точок перетину полігонів, які стосуються меж або накладаються на них. Геометричні перетини суміжних об'єктів миттєво виявляються шляхом порівняння вершин суміжних об'єктів, а не шляхом пошуку суміжних полігонів у таблиці. Наприклад, для того щоб знайти всі ділянки, що прилягають до досліджуваної ділянки, треба обрати цю ділянку, обрати опцію "Вибрати темою" з меню "Тема", вказати "перетинають" зі спадаючого вікна і клацнути на кнопці "Нова вибірка", щоб вибрати всі ділянки, що прилягають до первісно обраної ділянки.

Більш складний аналіз суміжності (сусідства) можна провести, об'єднуючи вибірку темою із запитом специфічних атрибутів, таких як ідентифікація тільки житлових ділянок, що прилягають до промислових зон. Хоча більш складні типи суміжності, які включають напрям (наприклад, пошук суміжних ділянок на схід від заданої дороги), доволі важко виявити без створення топології. Однак подібні варіанти аналізу застосовуються не дуже часто і не завжди є критично важливими для пересічних користувачів.

8.4.3. Точкова полігональна структура

Сукупність трьох елементарних графічних об'єктів – точки, лінії та полігона – є цілком достатньою для опису форми як лінійних, так і просторових картографічних об'єктів, які в цьому випадку кодуються як сукупність координат точок, що апроксимують форму лінійного об'єкта, наприклад, адміністративного кордону, русла річки тощо, або контуру (межі) територіального об'єкта, наприклад, території землекористування населеного пункту, басейну річки.

Векторне подання просторових об'єктів у вигляді точок називають точковою полігональною структурою (point polygon structure) [15]. Первісно таке подання даних з'явилося в системах автоматизації проектування (CAD-системах) і в простих графічних пакетах.

Форма або образ просторового об'єкта точковою полігональною моделлю подається *точками*, розміщених у місцях зміни форми.

У базі даних у цьому випадку зберігається пооб'єктна інформація про координати точок введення (рис. 8.15). У структуру атрибутивних таблиць вводиться описова інформація про геооб'єкти, що цифруються, а також інформація про графічне зображення об'єктів на карті.

Цей різновид векторних структур просторових даних відповідає початковому періоду розвитку ГІТ, хоча деякі сучасні ГІС і сьогодні використовують цей формат. Прикладом може бути формат MIF/MID – MapInfo Data Interchange Format – відкритий обмінний формат пакета MapInfo, а також шейп-файли (shapefiles) фірми ESRI [50].

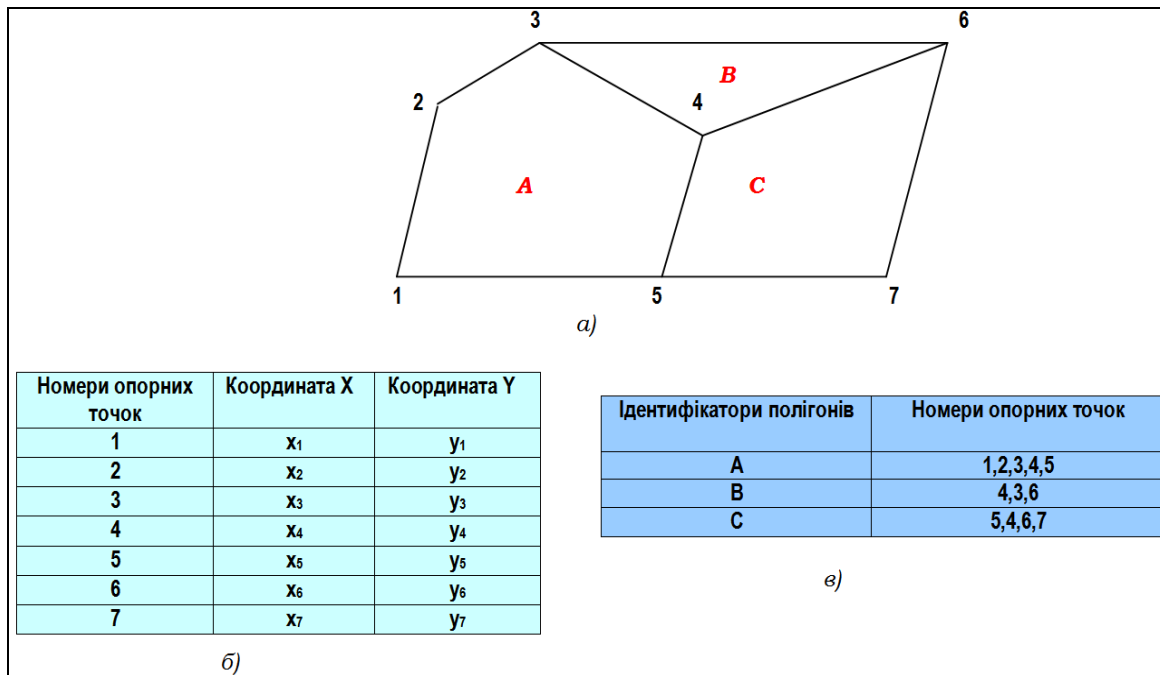


Рис. 8.15. Подання геооб'єктів з використанням точкової полігональної структури: а – формалізація вихідної карти; б – таблиця координат опорних точок; в – таблиця атрибутів полігонів

Основний недолік цього способу формалізації просторових даних полягає у відсутності в запису даних топологічної інформації (інформації про взаємне розміщення об'єктів), що вимагає при введенні метричних даних за допомогою дигітайзера проводити повний обхід кожного полігона. Це призводить до подвійного проходу по спільних для двох суміжних полігонів межах, що обумовлює значне збільшення витрат часу на введення, а також появу двох, що не збігаються через неточності позиціонування дигітайзера, спільних меж суміжних просторових об'єктів, які створюють так звані "паразитні" полігони [50].

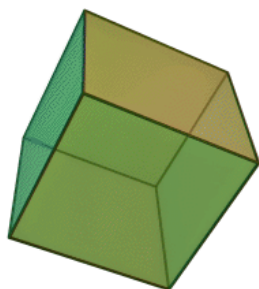
Цей спосіб подання часто також називають "спагеті".

8.4.4. Лінійна полігональна структура

Основні типи координатних даних у класі векторних моделей можуть визначатись і через базовий елемент "лінія".

Векторне подання просторових об'єктів у вигляді ліній називають лінійною полігональною структурою (line polygon structure).

Усі просторові об'єкти у лінійній полігональній структурі складаються з ліній. Наприклад, куб можна зобразити шістьма зв'язаними прямокутниками, кожний з яких утворюється чотирма зв'язаними лініями, або можна представити куб у вигляді дванадцяти зв'язаних ліній, що утворюють ребра цього куба (рис. 8.16).



Вершин	8
Ребер	12
Граней	6
Граней при вершині	3

Рис. 8.16. Подання куба лінійною полігональною структурою

Площинні об'єкти (полігони, ареали) задаються наборами ліній. Кожна ділянка лінії є межею для двох ареалів або двох перетинань (вузлів). Як і будь-який об'єкт, лінія має властивості: форму (пряма, крива), товщину, колір, накреслення (суцільна, пунктирна).

Замкнуті лінії (полігони, ареали) здобувають властивість заповнення. Охоплюваний ними простір може бути заповнений іншими об'єктами (текстурами, картами) або обраним кольором. Вузли мають властивості, параметри яких впливають на форму кінця лінії й характер поєднання з іншими об'єктами.

Приклади атрибутів вузлів:

- назви пересічних у вузлі вулиць;
- кількість трансформаторів на підстанції тощо.

Деякі атрибути пов'язані з частинами дуг, наприклад, частина залізничної гілки (що представлена дугою) може проходити усередині тунелю.

Враховуючи вищезазначене, стає зрозуміло, чому в ГІС лінію іноді називають *межею, сегментом, ланцюгом, ребром* або *дугою*.

Множина полігональних об'єктів подається аналогічно множині лінійних об'єктів з тією різницею, що в полігональних об'єктах початкові й кінцеві координати повинні збігатися.

8.5. Необхідність уведення топологічних відношень у ГІС

Подання геооб'єктів простими векторними моделями у вигляді списків координатних пар дозволяє утворювати складні об'єкти у вигляді комбінації графічних примітивів – точок, ліній, полігонів. Однак подання суміжних полігонів простими (нетопологічними) векторними моделями стає неефективним тому, що сторони, спільні для двох суміжних полігонів, зберігаються двічі. Топологічне векторне подання даних відрізняється від нетопологічного наявністю можливості отримання вичерпного списку

взаємовідношень між геометричними примітивами без зміни координат просторових об'єктів, які зберігаються.

Однією з основних причин розробки топології було створення строго автоматизованого методу виправлення похибок уведення і перевірки коректності даних.

Другою перевагою топологічних структур даних є менший розмір результуючих файлів, оскільки спільні вершини або суміжні полігони не зберігаються двічі. Теоретично ці файли повинні бути вдвічі меншими, ніж нетопологічні файли. Однак, на практиці шейп-файли рідко бувають вдвічі більшим за розміром, ніж ті ж дані, що зберігаються в покриттях, зокрема тому, що для покриттів необхідні додаткові файли для збереження топологічної інформації. Під таблиці атрибутів часто відводиться істотна частка загального розміру файлів, але їх розмір є однаковим незалежно від того, як зберігається геометрія об'єктів. Більш того, хоча розмір був важливим чинником у минулому, зараз у зв'язку з відносною дешевизною засобів збереження інформації цей чинник не є визначальним.

У загальному випадку повноцінна ГІС повинна передбачати наявність трьох блоків інформації:

- блоку інформації про характеристики (якісні та кількісні) об'єкта;
- блок інформації про просторове розташування об'єкта моделювання;
- блок інформації про зв'язки об'єкта моделювання з іншими об'єктами дослідження (топологію об'єкта, які дають змогу поєднати наявну інформацію з елементами карти і створити взаємозв'язки, які дозволяють, наприклад, визначити придатність різних ділянок на території для розробок, визначити вплив на навколишнє середовище різних виробництв, визначити об'єми збору зернових, знайти найкраще місце для заводу, школи або супермаркету.

8.6. Поняття про топологічні відношення в ГІС

Співвідношення між елементами векторних даних у термінах розташування і з'єднання відомі як *топологічні відношення*³¹. Теоретичною основою топологічних моделей служать алгебраїчна топологія і теорія графів.

³¹Напрямок математики, відомий як *топология*, виник у 1736 р., коли математик Леонард Ейлер опублікував статтю, де розглянув задачу, названу ним "Сім мостів Кенігсберга". Власне термін "топология" ("topologie" німецькою мовою) вперше з'явився лише в 1847 р. у статті Лістінга *Vorstudien zur Topologie*. Однак на той час Лістінг уже понад 10 років використовував цей термін в своїх листуваннях. "Topology", англійська форма терміна, була запропонована в 1883 р. в журналі *Nature* для того, щоб розрізнити якісну геометрію від геометрії звичайної, в якій превалюють кількісні співвідношення. Слово *topologist* – тобто тополог, у значенні "спеціаліст з топології", було вперше використано в 1905 р. в журналі

Топологія – це розділ математики, що вивчає ідею безперервності.

Безперервність – це одна з фундаментальних властивостей категорії "простору-часу". Топологія вивчає просторові відношення, які не змінюються при взаємно однозначних і взаємно безперервних перетвореннях.

Топологія реалізується математичною процедурою явного визначення просторових відношень.

Топологія надає векторним даним "інтелектуального" рівня. Це означає, що ГІС спроможна розпізнавати, який сегмент з яким з'єднаний, та ідентифікувати полігони, що межують з певним об'єктом.

Топологічні властивості фігур не змінюються при будь-яких деформаціях, що відбувається без розривів або з'єднань. На рис. 8.17 представлені топологічно-родинні фігури: прямокутний чотирикутник, квадрат, коло, еліпс.

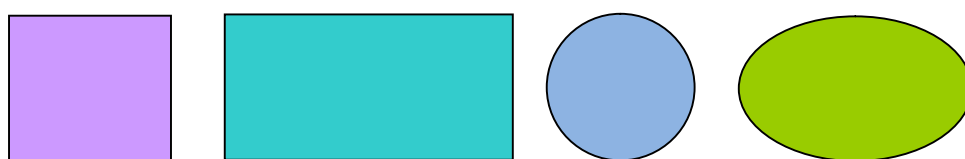


Рис. 8.17. Топологічно-родинні фігури

Так, коло, еліпс, контур квадрата і контур прямокутника мають одні й ті ж топологічні властивості, оскільки ці фігури можуть бути трансформовані одна в одну.

Як відомо, ГІС займаються відображенням (моделюванням) метричних просторів. Причому виконується це на площині – також метричному просторі. Великомасштабні карти, відображаючи площину, відображають "площину ділянки земної поверхні – площину карти", а дрібномасштабні – "сферичну поверхню (еліпсоїд, геоїд) – площину карти". Дійсно, якщо зобразити карту на плоскій гумі, а потім розтягти її в різних напрямках, то фігури (картографічні зображення) деформуються, але відношення (зв'язки) між елементами залишаться без змін; суміжні лінії різних фігур, зв'язані своїми кінцями з іншими елементами, так і залишаться зв'язаними при деформуванні. Змінюються лише форми ліній. Саме тому й стверджують, що коло, еліпс і контур квадрата мають одні і ті ж топологічні властивості, при їх деформаціях можна розтягти ділянки гуми таким чином, що навіть квадрат перетвориться на коло.

Інший приклад. Уявіть "повітряну" конструкцію, яка складається з паличок, з'єднаних кінцями між собою (на кінцях паличок є гачки для зчеплення). Якщо з ними виконати певні маніпуляції, то конструкція внаслідок зв'язаності кінців паличок залишиться цілісною: форма її зміниться, але кожна паличка, якщо вона була зв'язана з конкретними сусідами, так і

Spectator. Завдяки впливу згаданих вище статей Пуанкаре топологія тривалий час була відома ще під назвою *Analysis Situs* (лат. *аналіз місця*).

лишиться з ними зв'язаними, як би не підкидали або не стискали таку конструкцію. Конструкцію зі зв'язаних паличок можна розмістити на площині. При переміщенні паличок за ними зміщуються і сусіди (гачки не дають відірватися). Все це зумовлено наявністю жорстких зв'язків між кінцями паличок, оскільки створена топологічна конструкція.

Тепер наведемо приклад нетопологічних конструкцій. Кільце і коло мають різні топологічні властивості: коло обмежене одним контуром, а кільце – двома.

Також можна взяти окремі сірники і скласти з них конструкцію на площині. Конструкція може бути такою за формою, як у прикладі зі скріпленими між собою паличками. Однак можна взяти будь-який сірник і перемістити його. Оскільки він фізично не скріплений з сусідами, то зробити це можна досить легко, не зачепивши сусідні сірники. В такому разі кажуть, що сірники не утворюють топологічно зв'язану конструкцію з іншими сірниками. Конструкція легко розсипається, якщо стукнути по площині, на якій розмістили конструкцію. Навпаки, в прикладі зі скріпленими між собою паличками після струшування може змінитися форма конструкції, але зв'язки між сусідами збережуться.

Необхідна процедура при роботі з топологічною моделлю – підготовка геометричних даних для побудови топології. Цей процес не може бути повністю автоматизований вже на даних середньої складності і реалізується тільки при додаткових витратах праці, зазвичай істотних.

Таким чином, дані, які зберігаються в системі, що не передбачає підтримки топології, не можуть бути належно перетворені на топологічні дані іншої ГС за суто автоматичним алгоритмом. Топологічні характеристики повинні обчислюватись у ході кількісних перетворень моделей об'єктів ГС, а потім зберігатися в базі даних спільно з координатними даними.

8.7. Характеристики топологічних моделей

Для аналізу топологічних зв'язків між об'єктами можуть застосовуватись такі топологічні характеристики:

– **зв'язаність** – контури, дороги та інші вектори повинні зберігатися не як незалежні набори точок, а як взаємопов'язані один з одним об'єкти. Зв'язаність і прилягання районів – інформація про взаємне розташування районів і про вузли перетинання районів (рис. 8.18);

– **сусідство** (близькість) – наприклад, для полігональних – два зображення будівель, які стоять поруч, для лінійних – зображення річки і розташованої поруч із річкою дороги. Близькість – показник просторової близькості лінійних або ареальних об'єктів (рис. 8.19), оцінюється числовим параметром, у даному випадку параметром δ ;

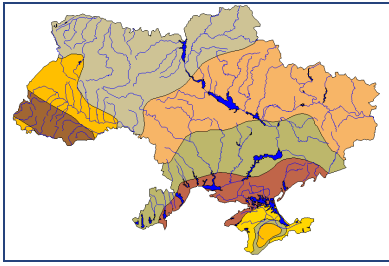


Рис. 8.18. Зв'язаність і прилягання районів

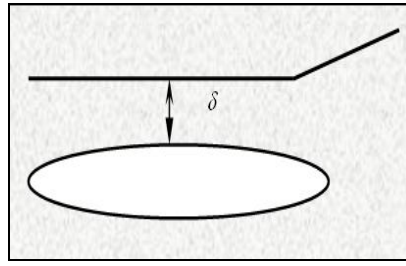


Рис. 8.19. Оцінка близькості об'єктів

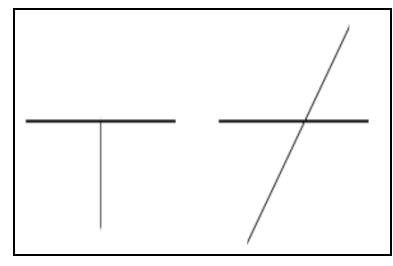


Рис. 8.20. Тривалентне (ліворуч) і чотиривалентне (праворуч) перетинання

– **перетинання** – наприклад, зображення двох комунікацій, які перетинаються. Інформація про типи перетинань дозволяє відтворювати мости і дорожні перетинання (рис. 8.20). Так, Т-подібне перетинання (3 лінії) є тривалентним, Х-подібне (4 лінії сходяться в точці перетину) називають чотиривалентним перетинанням.

Валентність вузла – спеціальна (топологічна) характеристика вершини вузла мережі (сітки), яка визначається кількістю ланок у ній.

Кінці відособлених ліній одновалентні (валентність дорівнює 1). Для вуличних мереж перетинання типу перехрестя характерними є чотиривалентні вузли, тривалентні вузли характерні для мережі річок.

Різновидом мережі є деревоподібна структура або дерево, що має тільки один шлях між парами вузлів. Більшість річкових мереж є деревами;

– **суміжність** – наприклад, для полігональних об'єктів – зображення двох суміжних будівель, для лінійних – зображення річки та межі, яка проходить по одному з берегів;

– **еквідистантне сусідство** – наприклад, дві будівлі, розташовані паралельно одна до одної, або паралельно розташовані залізниця і шосе;

– **вкладеність** – наприклад, зображення острова, вкладеного в зображення озера;

– **накладення** – наприклад, для полігональних – зображення стінного репера, накладеного на зображення будівлі, для лінійних – зображення наземних і підземних комунікацій;

– **прилягання** – наприклад, зображення двох прилеглих ділянок русла річки, що мають різні семантичні характеристики.

Топологічні характеристики лінійних об'єктів можуть бути представлені візуально за допомогою зв'язаних графів. Граф зберігає структуру моделі з усіма вузлами і перетинами. Він нагадує карту з перекрученим масштабом. Прикладом такого графа може служити схема метрополітену.

Різниця між картою і схемою метро показує різницю між картою і графом.

Вузли графа, що описують картографічну модель, відповідають перетинам доріг, місцям стикування доріг із мостами тощо. Ребра такого

графа описують ділянки доріг і об'єкти, які їх з'єднують. На відміну від класичної мережної моделі, в даній моделі довжина ребер може не мати інформативного навантаження.

Топологічні характеристики ареальних об'єктів можуть бути представлені за допомогою графів покриття і суміжності. Граф покриття є топологічно гомоморфним контурній карті відповідного району. Ребра такого графа описують межі між районами, а його вузли (вершини) представляють точки змикання районів. Ступінь вершини такого графа – це число районів, які в ній змикаються. Граф суміжності – це начебто вивернутий навиворіт граф покриття. В ньому райони відображаються вузлами (вершинами), а пари районів, що змикаються, – ребрами. Такий граф ГІС дозволяє визначити, чи є прохідною розглянута територія, чи поділяється вона на прохідні та непрохідні ділянки.

Топологічні характеристики супроводжуються позиційною й описовою інформацією. Вершина графа покриття може бути доповнена координатними точками, якими змикаються відповідні райони, а ребрам приписують лівосторонні та правосторонні ідентифікатори.

Після введення точкових об'єктів при побудові лінійних і площинних об'єктів необхідно створити топологію. Ці процеси передбачають обчислення і кодування зв'язків між точками, лініями й ареалами.

Перетинання і зв'язки мають векторне представлення. Топологічні характеристики заносяться при кодуванні даних у вигляді додаткових атрибутів. Цей процес здійснюється автоматично у більшості ГІС у процесі дигіталізації картографічних або фотограмметричних даних.

Зазвичай, об'єкти пов'язані між собою. Це визначає ефективність застосування реляційних моделей і баз даних, у яких використовується поняття "відношення". В свою чергу, відношення задають множину зв'язків. Найпростіші приклади таких зв'язків: "найближчий до...", "перетинає", "з'єднаний з..."

Кожному об'єкту можна визначити ознаку, яка являє собою ідентифікатор найближчого до нього об'єкта такого ж класу, таким чином кодуються зв'язки між парами об'єктів.

У ГІС часто кодуються два типи зв'язків:

- зв'язки в мережах;
- зв'язки між полігонами.

Мережі топологічно складаються з об'єктів двох типів: ліній (ланки, грані, ребра, дуги) і вузлів (вершини, перетинання, з'єднання). Найпростіший спосіб кодування зв'язків між ланками і вузлами полягає в присвоєнні кожній ланці двох додаткових атрибутів – ідентифікаторів вузлів на кожному кінці (вхідний вузол і вихідний вузол). У цьому випадку при кодуванні геометричних даних використовуються два типи записів:

- 1) координати дуг: $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$;
- 2) атрибути дуг: вхідний вузол, вихідний вузол, довжина, описові характеристики.

Така структура дозволяє, переміщуючись від ланки до ланки, визначати ті з них, у яких перекриваються номери вузлів.

Більш складна, але й більш досконала структура має список усіх ланок для кожного вузла. Це може бути виконано доданням до перших двох записів запису третього типу:

- 3) вузол (x, y) , суміжні дуги (зі знаком "+" для вхідного кута і зі знаком "-" для вихідного).

Щоб уникнути незручностей, пов'язаних зі збереженням неоднакової кількості ідентифікаторів дуг, використовують два окремі файли:

- *простий упорядкований список*, у якому файл вузлів стиснутий до ряду ідентифікаторів дуг;
- *таблицю*, в якій для кожного вузла зберігається інформація про накладання першої дуги списку [56].

8.8. Топологічні моделі сучасних ГІС

8.8.1. Опис топологічної інформації

Сучасне математичне забезпечення ГІС засноване на топологічних моделях, які дозволяють ефективно формалізувати подання про просторові відношення між основними об'єктами карти.

Топологія в ГІС – це процедура визначення просторових зв'язків (сусідства) об'єктів.

Формування топології включає визначення і кодування взаємовідносин між точковими, лінійними і полігональними об'єктами.

У топологічному шарі в процесі його створення і редагування створюються і фіксуються як самі просторові об'єкти, так і просторові відношення між зазначеними об'єктами, які контролюють цілісність об'єкта. Термін "*топологічний*" означає, що в моделі об'єкта зберігаються взаємозв'язки, які розширюють використання даних ГІС для різних видів просторового аналізу. Завдяки своїм властивостям топологічні моделі забезпечують розв'язання просторових задач, наприклад, відповіді на питання: "Що знаходиться поруч?", "Що потрапить у полігони даних типів?", "Які відрізки ліній необхідно включити в маршрут" тощо. Крім того, якщо кожен графічний елемент буде пов'язаний з певною атрибутивною інформацією у форматі звичайної бази даних, тоді, позначивши об'єкт на карті, можна буде визначити його характеристики.

Топологічні моделі дозволяють представляти елементи карти і всю карту у вигляді графів.

Топологічна інформація описується набором *вузлів* і *дуг*.

Вузол (*node, junction*) – *початкова* (*beginning point, start node*) або *кінцева точка* (*ending point, end node*) *дуги у векторно-топологічному поданні (лінійно-вузлової моделі) просторових об'єктів типу лінії або полігона; списку або таблиці.*

Вузли містять атрибути, що встановлюють топологічний зв'язок з усіма дугами, що замикаються на ньому.

Кожний вузол з'єднується прямою лінією, яку називають *сегментом* або *дугою*. Відрізок спільної межі між двома точками має різні назви, які є синонімами у предметній галузі ГІС. Наприклад, спеціалісти з теорії графів надають перевагу терміну *ребро* над терміном *лінія*, а для точок (перетинань) використовують термін *вершина*. Згідно з національним стандартом США, офіційним є термін *ланцюг* (*chain*). У деяких ГІС, наприклад в ArcInfo, та графічному редакторі GoretDraw використовується термін *дуга*. Поняття дуги (ланцюга, ребра) є фундаментальним для векторних ГІС.

Дуга (*arc, link*) – *1. послідовність сегментів, що мають початок і кінець у вузлах; елемент (примітив) векторно-топологічних (лінійно-вузлових) подань лінійних і полігональних просторових об'єктів; 2. крива, що описується відносно множини точок деякими аналітичними функціями.*

Графічне зображення дуг і вузлів представлено на рис. 8.21.

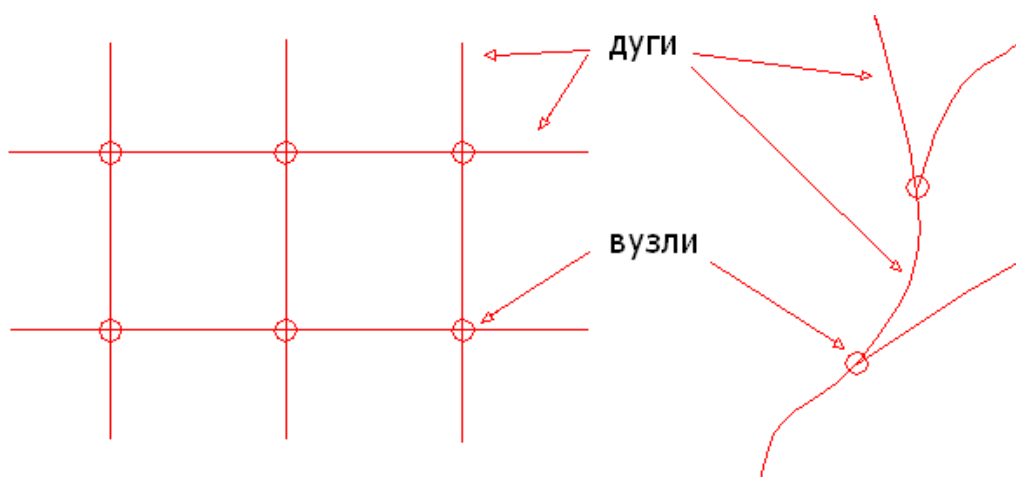


Рис. 8.21. Графічне зображення дуг і вузлів

Площі, лінії і точки описуються межами й вузлами (дугова / вузлова структура). Кожна межа йде від початкового до кінцевого вузла і надає можливість визначити, які площі знаходяться ліворуч і праворуч.

Існує декілька видів топологічних відношень. Необ'єктні топології, "внутрішньооб'єктні" і "міжоб'єктні" лінійно-вузлові топологічні відношення. "Об'єкт" у лінійно-вузлових ГІС і в об'єктних ГІС – це дещо різні поняття, тому вони взяті в лапки.

Об'єктні топології:

– внутрішньооб'єктні топологічні відношення;

– міжоб'єктні топологічні відношення:

- вузлові топологічні відношення;

- міжоб'єктні топологічні відношення в межах одного шару;

- міжшарові топологічні відношення між об'єктами;

- топологічні міжоб'єктні ресурсні зв'язки;

– концептуальні топологічні відношення (відношення між класами об'єктів, а не між екземплярами);

– псевдотопологія.

В ГІС найбільш поширеними є вузлові топології (node topology), мережеві топології (network topology) та полігональні топології (polygon topology) (рис. 8.22).

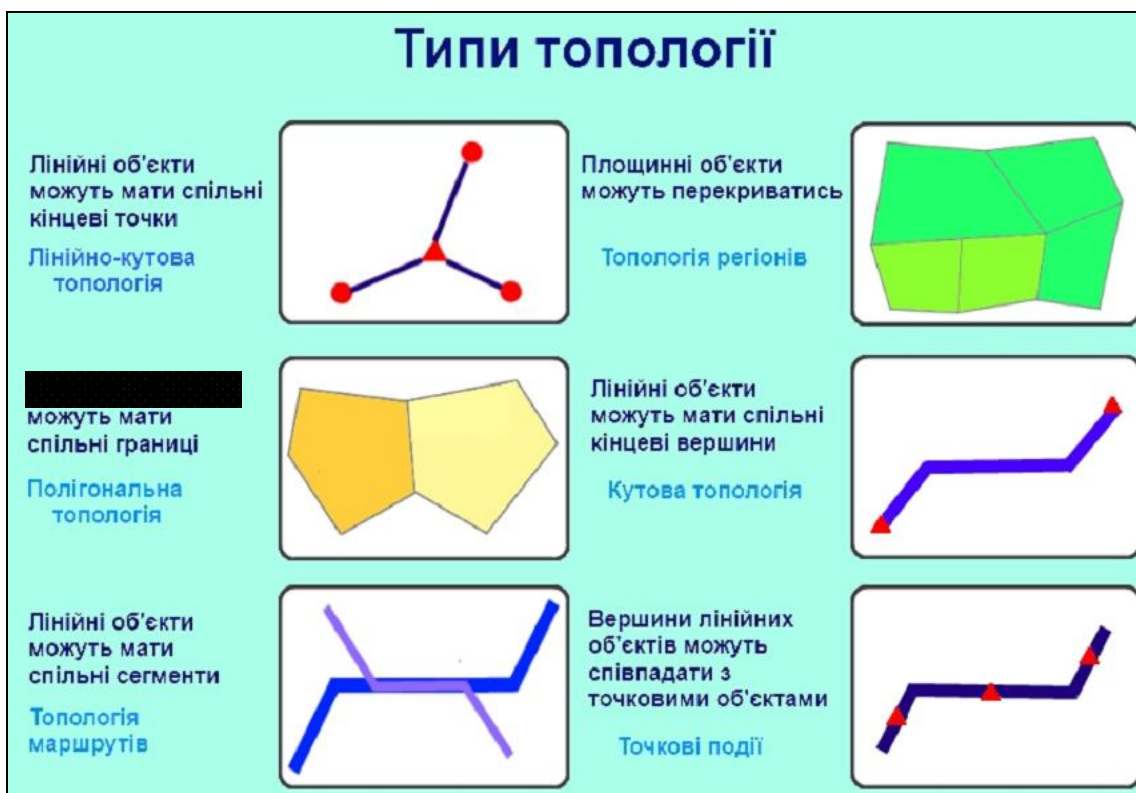


Рис. 8.22. Типи топології в ГІС

Топологія в ГІС реалізується на підставі оригінальної і простої ідеї: різні типи просторових відношень представляються пов'язаними списками об'єктів.

У ГІС реалізовані три базові топологічні відношення дуг (arc):

- дуги, які з'єднуються в полігон, оточують область;
- дуги, що мають напрямок, мають праві та ліві сторони;
- дуги з'єднуються у вузлах.

На цій основі в ГІС формалізована топологічна група просторових відношень, які не змінюються за будь-яких безперервних перетворень простору [8]:

1. *Область* (area) – визначається дугами, що з'єднуються в полігон для оточення області.

2. *Суміжність* (contiguity) – визначається дугами, що мають напрямок і тому мають праву і ліву сторони.

3. *Зв'язність* (connectivity) – визначається дугами, які з'єднуються у вузлах.

Створення та збереження моделей географічних об'єктів на основі просторових відношень мають низку переваг, тому що:

- дані зберігаються більш ефективно;
- дані можна обробляти швидше та більшими наборами;
- топологія полегшує застосування аналітичних функцій.

Більш ефективний спосіб збереження даних заснований на понятті "граф".

Граф – це множина елементів, пов'язаних між собою відношеннями.

Геометрично граф представляється у формі векторної схеми, що складається з вершин, вузлів, ребер, дуг.

Вершина (англ. vertex) – це об'єкт графа. Вершини зображують точками.

Ребро (англ. edge) – це лінія, яка зв'язує точки (об'єкти графа). Ребра представляють відношення між об'єктами.

Дуга (англ. arc) – це ребро з певною орієнтацією відносно її кінцевих вершин.

Вузол (англ. node) – це спільна вершина для двох або більшої кількості дуг. У вузлах сходяться дуги.

На рис. 8.23 зображено два альтернативні методи для подання полігонів. Перший метод (рис. 8.23 а) описує полігон як замкнену послідовність векторів, що представлена списком координат. Другий метод (рис. 8.23 б) описує полігон як набір дуг (1, 2, 3) та вузлів (а, б). Полігон А визначають дуги 1, 2. Полігон В визначають дуги 2, 3.

У першому випадку координати точок суміжних ліній повторюються. У другому випадку загальну межу суміжних полігонів представляє дуга 2, координати якої використовуються один раз при описі дуги.

Вузол – це перетин двох або більше дуг. Його номер використовується для посилання на будь-яку дугу, якій він належить.

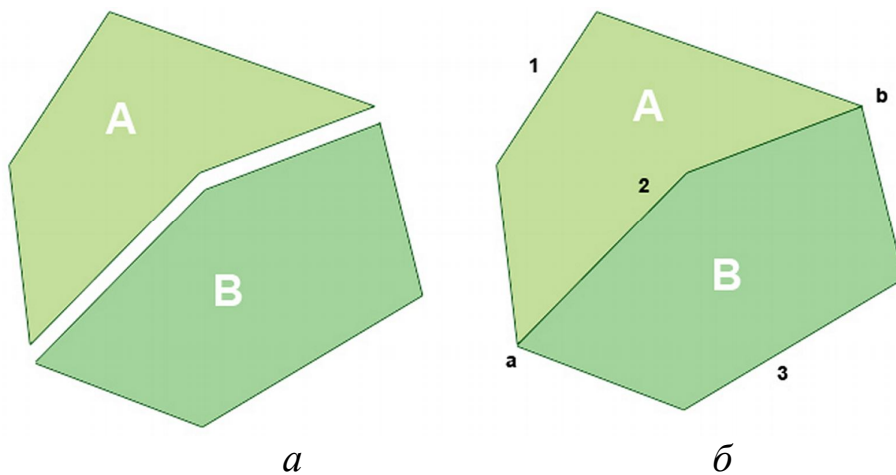


Рис. 8.23. Відображення суміжних полігонів на основі структури "граф":
a – просте; *б* – векторне подання

Кожна дуга (arc) починається і закінчується або в точці перетину з іншою дугою, або у вузлі, що не належить іншим дугам. Дуги утворюються послідовностями відрізків, з'єднаних проміжними (формотворними) точками. У цьому випадку кожна лінія має два набори чисел: пари координат проміжних точок і номери вузлів. Крім того, кожна дуга має свій ідентифікаційний номер, який використовується для визначення того, які вузли репрезентують її початок і кінець. Області, обмежені дугами, також мають ідентифікаційні коди, які використовуються для визначення їх відношень з дугами. Кожна дуга містить явну інформацію про номери областей ліворуч і праворуч, а це дозволяє знаходити суміжні області. Ця особливість моделі дозволяє комп'ютеру знати дійсні відношення між просторовими об'єктами. Інакше кажучи, ми маємо векторну модель даних, яка краще відображає те, як ми, користувачі карт, визначаємо просторові взаємовідношення, записані в традиційному документі.

Елементом вузлової топології є *вузол*. Кожний вузол у вузловій топології може характеризуватись набором даних:

$\{ID, StartNode, EndNode, LeftPol, RightPol, DirectWeight, BackWeight\}$,
де *ID* – ідентифікатор;
StartNode, EndNode – початковий і кінцевий вузол дуги;
LeftPol, RightPol – ідентифікатори полігонів праворуч і ліворуч від дуги (якщо одночасно побудована полігональна топологія);
DirectWeight, BackWeight – вага дуги в прямому і зворотному напрямку.

Залежно від того, скільки дуг об'єднано в одному вузлі, вузли можуть позначатися по-різному (рис. 8.24) і відрізнятися як:

- Δ – нормальні вузли (три і більше дуг);
- ◇ – псевдовузли (дві дуги, в тому числі різні кінці однієї дуги);
- – висячі вузли (одна дуга).

Псевдовузли не є вузлами відгалуження, не є необхідними для розв'язання топологічних задач і тому можуть бути видалені (підчистка псевдоузлів) з об'єднанням кожної пари дуг, інцидентних³² псевдовузлу, в одну дугу у відповідній вершині [43].

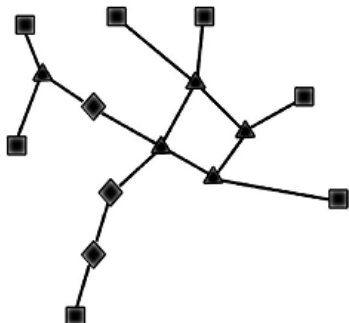


Рис. 8.24. Позначення вузлів

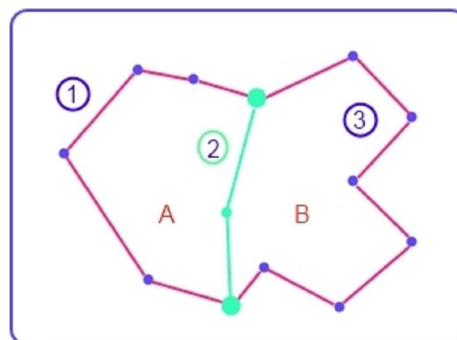


Рис. 8.25. Сусідство двох полігонів

Елементом полігональної топології є *полігон*. При створенні полігональної топології створюються і мережева, і вузлова топології. На рис. 8.25 проілюстровано приклад сусідства двох полігонів.

Кожний полігон може характеризуватися наступним набором даних:

$$\{ID, Area, N, X, Y\},$$

де ID – ідентифікатор полігона;

$Area$ – його площа;

N – число ребер, що обмежують полігон;

X, Y – координати центроїда полігона.

Топологічний простір – множина елементів будь-якої природи, в якому тим або іншим способом визначені граничні співвідношення.

Як визначається відстань між двома точками в евклідовому метричному просторі, ми всі знаємо, бо в ньому живемо. Хоча дехто заперечить і скаже, що ми живемо трохи в іншому просторі (теж метричному) – на поверхні кулі, якому "ближче" сферична геометрія, ніж евклідова. З цим можна погодитися, тому що евклідовий простір – це простір на сфері безкрайньо великого діаметра, тобто частковий граничний випадок сфери.

У ГІС потрібно розрізняти топологію простору і топологію фігури (конструкції), яка знаходиться в цьому просторі.

Топологія об'єкта може бути не пов'язана з топологічністю метричного простору. Наприклад, принципова електрична схема якогось приладу утворює топологічну конструкцію, але ця топологія – не метрична

³²Термін, що вживається в геометрії для вираження відношення належності між основними об'єктами геометрії.

(відстань між елементами не задана, та й не має сенсу її задавати). Іншим прикладом топологічно родинних фігур можуть служити арифметичні знаки додавання "+" і множення "*". Елементи топології, що входять в опис моделей даних ГІС, визначаються зв'язками між елементами основних типів координатних даних.

Можна стверджувати, що зображення карти завжди топологічне внаслідок топологічних властивостей самого аркуша паперу. Аналогічно, топологічним буде й екран монітора.

Поняття топології для точкових, лінійних об'єктів і полігонів суттєво різняться (рис. 8.26) [90].

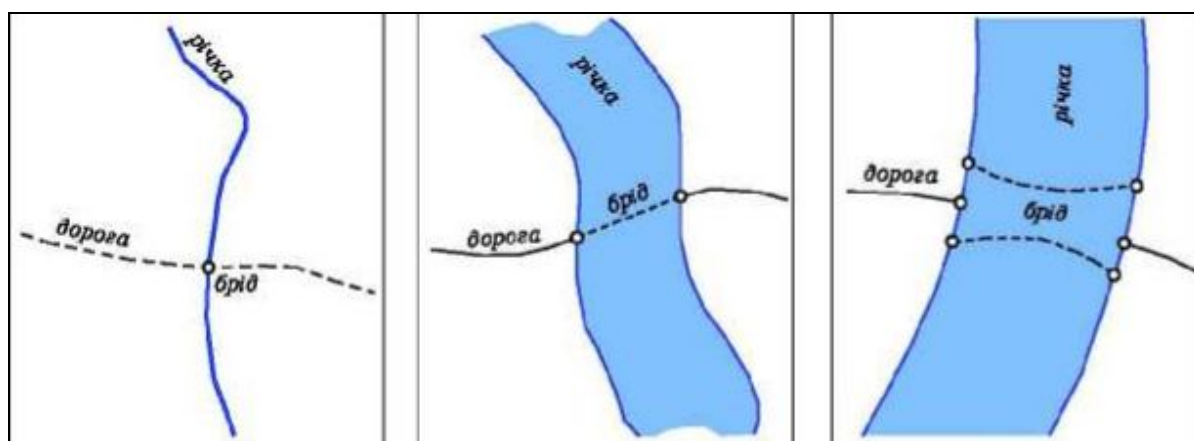


Рис. 8.26. Топологія точкових, лінійних і полігональних об'єктів

Набір ліній має топологію, якщо визначені:

- взаємовідношення ліній;
- напрямок ліній;
- довжина ліній.

У місцях перетинання лінійних об'єктів утворюються вузли (рис. 8.27).

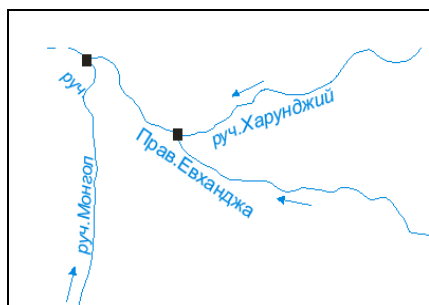


Рис. 8.27. Утворення вузлів

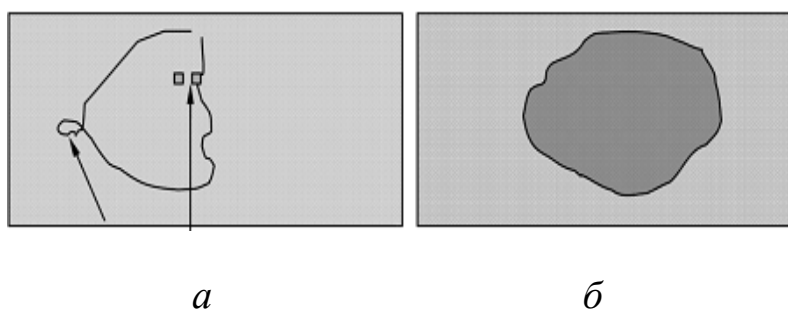


Рис. 8.28. Подання полігонів:
а – топологія відсутня;
б – наявність і коректне зображення топології

Для топології вони повинні не просто стояти близько, їх координати повинні співпадати.

Для площинних об'єктів топологія визначається коректністю геометрії об'єкта та їх взаємного розташування (сусідства).

Коректність геометрії. Коректні в топологічному відношенні полігони повинні бути ідеально замкнуті і не мати самоперетинань ("вісімок") (рис. 8.28).

Сусідство. Топологічна коректність взаємного розташування означає, що межа між двома полігонами повинна бути завжди одна. Інакше кажучи, полігони не можуть перекривати один одного.

Найнеобхідніша процедура при роботі з топологічною моделлю – підготовка геометричних даних для побудови топології. Цей процес не може бути повністю автоматизованим на даних середньої складності і реалізується тільки при додаткових, зазвичай істотних витратах праці.

Таким чином, якщо дані зберігаються в ГІС, яка не передбачає підтримки топології, то вони не можуть бути надійно перетворені на топологічні дані іншої ГІС суто автоматичним алгоритмом.

Примітка. Для забезпечення можливості використання сучасних аналітичних методів потрібно внести в комп'ютер якомога більше явної топологічної інформації.

Оскільки математичний співпроцесор об'єднує багато спеціалізованих математичних операцій, то і топологічна модель даних поєднує рішення функцій, які найбільш часто використовуються в географічному аналізі. Це забезпечується включенням у структуру даних інформації про суміжність об'єктів для елімінації³³ необхідності визначення топології при виконанні багатьох операцій.

8.8.2. Топологічне подання полігонів

Топологічне подання полігонів розглянемо на прикладі карти (рис. 8.29). На карті:

- полігон 1 – зовнішній полігон;
- полігон 2 охоплюють дуги 4, 6, 7, 10, 8;
- полігон 3 охоплюють дуги 3, 9, 10;
- полігон 4 охоплюють дуги 2, 7, 9;
- полігон 5 охоплюють дуги 1, 5, 6;
- полігон 6 охоплює дуга 8.

У ГІС топологічне подання реалізується списком "Полігон – Дуга" (рис. 8.30) та пов'язаним із ним списком "Координати дуг" [89].

³³**Елімінація** (від лат. *eliminatio* – винесення за поріг) матем. – виключення невідомих із системи рівнянь.

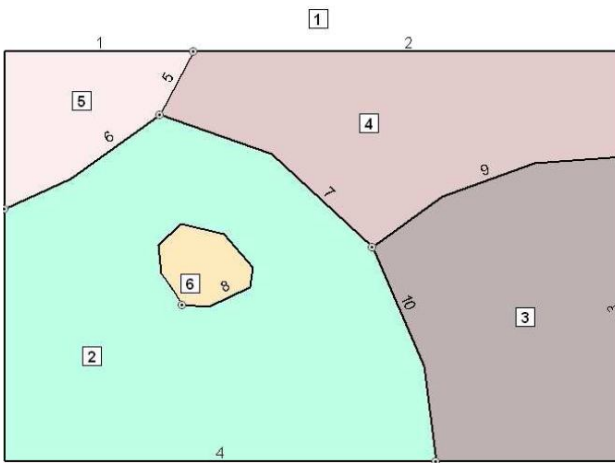


Рис. 8.29. Карта полігональних об'єктів

Список "Полігон – Дуга" Список "Координати вершин"

Полігон	Дуга
1	1, 2, 3, 4, 0
2	4, 6, 7, 10, 0, 8
3	3, 9, 10
4	2, 7, 9
5	1, 5, 6
6	8

Дуга	Координати вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{12}, Y_{12}, X_{13}, Y_{13}$
2	$X_{21}, Y_{21}, X_{22}, Y_{22}, X_{23}, Y_{23}$
3	$X_{31}, Y_{31}, X_{32}, Y_{32}, X_{33}, Y_{33}$
4	$X_{41}, Y_{41}, X_{42}, Y_{42}, X_{43}, Y_{43}$
5	$X_{51}, Y_{51}, \dots, X_{52}, Y_{52}$
6	$X_{61}, Y_{61}, \dots, X_{62}, Y_{62}$
7	$X_{71}, Y_{71}, \dots, X_{72}, Y_{72}$
8	$X_{81}, Y_{81}, \dots, X_{82}, Y_{82}$
9	$X_{91}, Y_{91}, \dots, X_{92}, Y_{92}$
10	$X_{101}, Y_{101}, \dots, X_{102}, Y_{102}$

Рис. 8.30. Список "Полігон – Дуга"

У списку "Полігон – Дуга" полігон 2 описується дугами 4, 6, 7, 10, 0, 8, де 0 перед дугою 8 вказує, що ця дуга створює острів (дірку) в полігоні 2. В списку "Полігон – Дуга" дуги можуть з'явитися 2 рази, у списку координат дуг – один раз. Кінцевими вершинами дуг є вузли. Вузол двох та більшої кількості дуг повинен мати у списку одні координати.

Таким чином, топологічний опис області реалізується у цифровій формі двома пов'язаними списками.

Топологічне подання суміжності розглянемо на прикладі карт дуг (рис. 8.31) [89].

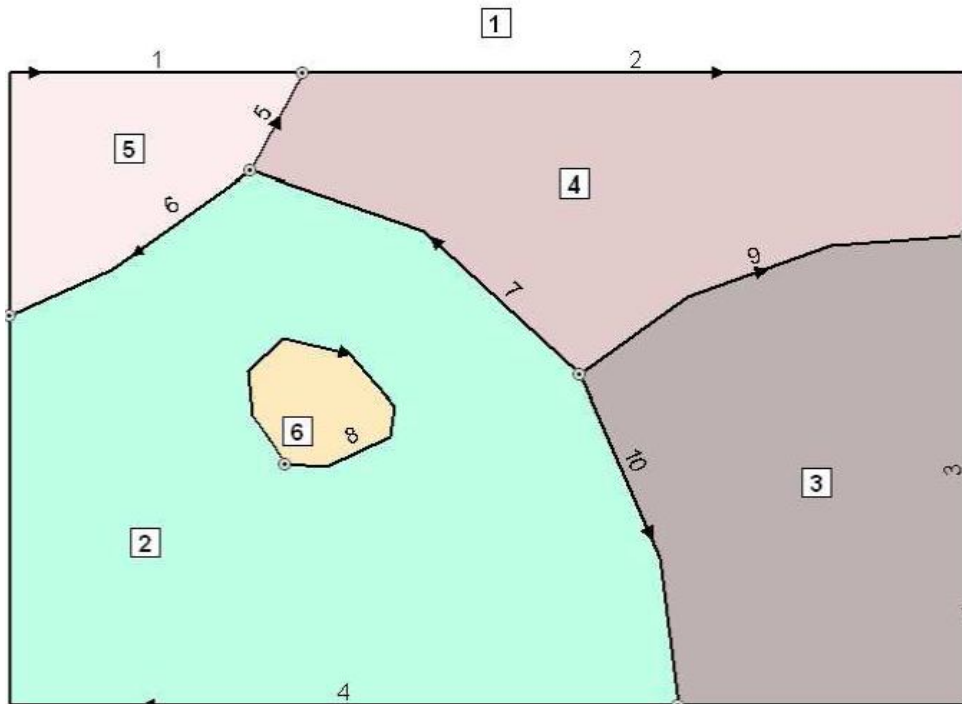


Рис. 8.31. Карта дуг і полігонів

На карті ліворуч відносно дуги 5 знаходиться полігон 5, а праворуч – полігон 4; ліворуч відносно дуги 6 знаходиться полігон 2, а праворуч – полігон 5; ліворуч відносно дуги 1 знаходиться полігон 1, а праворуч – полігон 5 тощо.

Зовні усіх полігонів знаходиться зовнішній полігон 1, який називають полігоном Всесвіту. Він уводиться для одноманітного (уніфікованого) опису полігонів: кожна дуга повинна мати полігони ліворуч і праворуч.

Топологічне відношення суміжності дозволяє ідентифікувати те, що оточує об'єкт. Наприклад, виявити сусідів по земельній ділянці або чи суміжний ліс з озером тощо. Будь-які полігони, які спільно використовують дугу, є суміжними. Оскільки дуга має напрямок від вузла до вузла, то можна підтримувати список полігонів як з лівого, так і з правого боку.

Таким чином, топологічний опис суміжності реалізується двома списками в цифровій формі [89].

У ГІС топологічне подання суміжності реалізується списком "Полігон ліворуч-праворуч" та зв'язаним із ним списком "Координати дуг" (рис. 8.32).

Дуга	Полігон ліворуч	Полігон праворуч
1	1	5
2	1	4
3	1	3
4	1	2
5	5	4
6	2	5
7	2	4
8	2	6
9	4	3
10	3	2

Дуга	Координати вершин
1	$X_{11}, Y_{11}, X_{21}, Y_{21}, X_{31}, Y_{31}$
2	$X_{12}, Y_{12}, X_{22}, Y_{22}, X_{32}, Y_{32}$
3	$X_{13}, Y_{13}, X_{23}, Y_{23}, X_{33}, Y_{33}$
4	$X_{14}, Y_{14}, X_{24}, Y_{24}, X_{34}, Y_{34}$
5	$X_{15}, Y_{15}, \dots, X_{15}, Y_{15}$
6	$X_{16}, Y_{16}, \dots, X_{16}, Y_{16}$
7	$X_{17}, Y_{17}, \dots, X_{17}, Y_{17}$
8	$X_{18}, Y_{18}, \dots, X_{18}, Y_{18}$
9	$X_{19}, Y_{19}, \dots, X_{19}, Y_{19}$
10	$X_{10}, Y_{10}, \dots, X_{10}, Y_{10}$

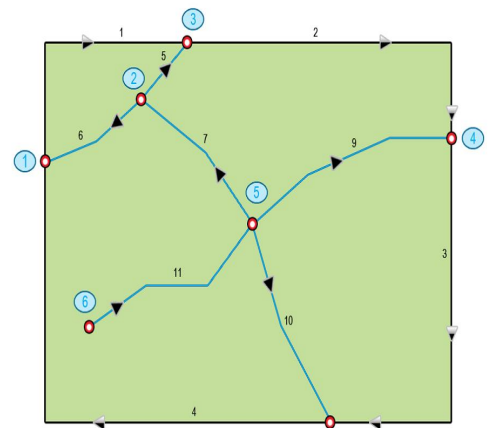


Рис. 8.32. Список "Полігон ліворуч-праворуч" і зв'язаний із ним список "Координати дуг"

Рис. 8.33. Карта дуг і вузлів (топологічне подання зв'язності)

8.8.3. Топологічне подання зв'язності

Топологічне подання зв'язності розглянемо на прикладі карти дуг (рис. 8.33) [89]. Кінцеві точки дуги називаються "вузлами". Кожна дуга має два вузли: початковий, який називають "з вузла", та кінцевий, який називають "до вузла". Дуги можуть з'єднуватися тільки у вузлах.

На рис. 8.34: дуги 7, 8, 9, 10 з'єднуються у вузлі 5; дуги 5, 6, 7 з'єднуються у вузлі 2 тощо.

У ГІС топологічне подання зв'язності реалізується списком "Дуга-Вузол" і зв'язаним з ним списком координат дуг. Отже, топологічний опис зв'язності у цифровій формі реалізується 2 списками.

При простежуванні усіх дуг у списку "Дуга-Вузол" програма визначає, які дуги з'єднуються (пов'язані) одна з одною.



Рис. 8.34. Список "Дуга-Вузол" і зв'язаний з ним список "Координат дуг"

Зв'язність є надзвичайно ефективним засобом для розв'язання транспортних задач. Наприклад, можна проїхати по дугах 6, 7, 10 через вузли 5, 2, однак неможливо переїхати безпосередньо з дуги 6 на дугу 10, які не мають спільного вузла [89].

8.8.4. Векторно-топологічна (лінійно-вузлова) модель

Векторна модель, яка описує не тільки геометрію об'єктів, але й топологічні відношення між ними, отримала назву *векторно-топологічної моделі*.

Елементами векторно-топологічної моделі даних (рис. 8.35 і 8.36) виступають:

- *внутрішній полігон* (острів) – полігон, що знаходиться всередині іншого полігона;
- *складений полігон* – містить внутрішні полігони;
- *простий полігон* – не містить внутрішніх полігонів;

– універсальний полігон – зовнішня область; полігон, зовнішній по відношенню до всіх інших полігонів шару.

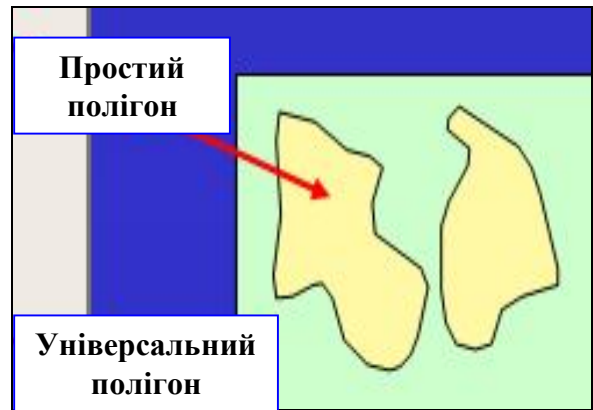
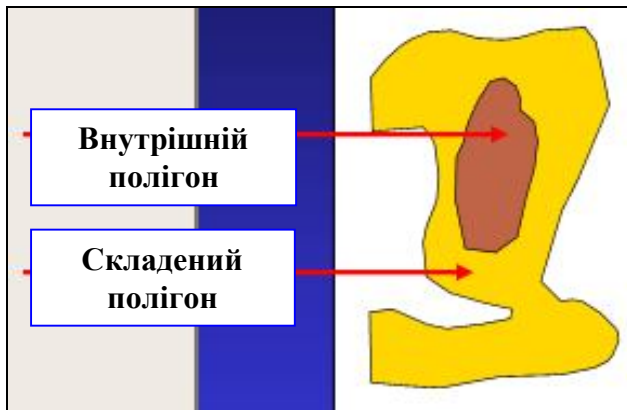


Рис. 8.35. Ілюстрація внутрішнього і складеного полігонів

Рис. 8.36. Ілюстрація простого і універсального полігонів

У більшості випадків сучасне математичне забезпечення ГІС базується саме на топологічних моделях.

Топологія визначає всі об'єкти карти як набір ліній (дуг), міток і як просторові відношення між точками та лініями, що з'єднуються (рис. 8.37).

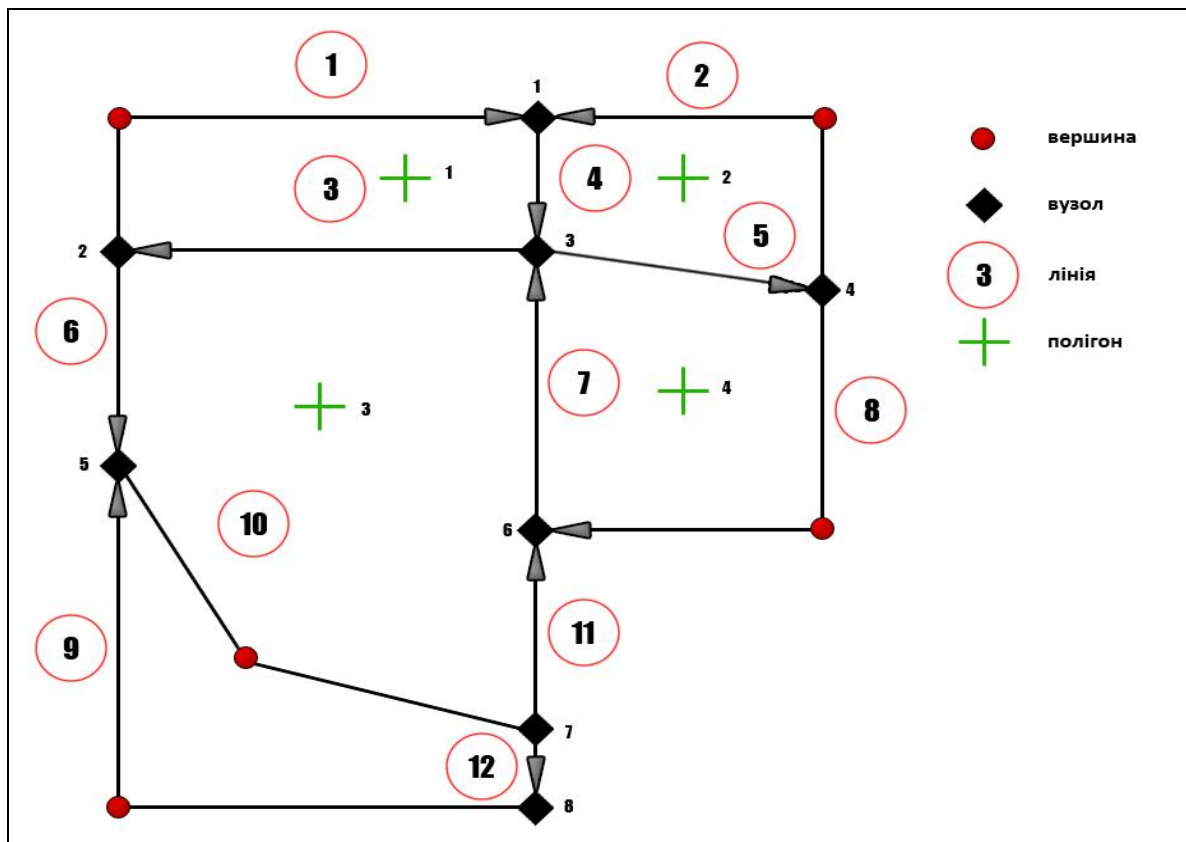


Рис. 8.37. Топологічні відношення:
• – вершина; ♦ – вузол; (3) – лінія; + полігон

Така векторно-топологічна модель називається *лінійно-вузловою*.

Ця модель визначає основні топологічні характеристики:

- дуги з'єднуються між собою у вузлах (зв'язність);
- дуги, обмежуючи фігуру, визначають полігон;
- дуги мають напрямок, а також лівий і правий бік (безперервність).

Кожна дуга має напрямок (початковий і кінцевий вузли), тобто можливість визначити список полігонів ліворуч і праворуч від дуги. Таким чином, полігони, які мають спільну дугу, є суміжними.

Побудова топології має на меті подання основних топологічних характеристик для всіх об'єктів лінійно-вузлової моделі за допомогою декількох простих атрибутивних таблиць (рис. 8.38), які не містять координатних характеристик і називаються топологічними.

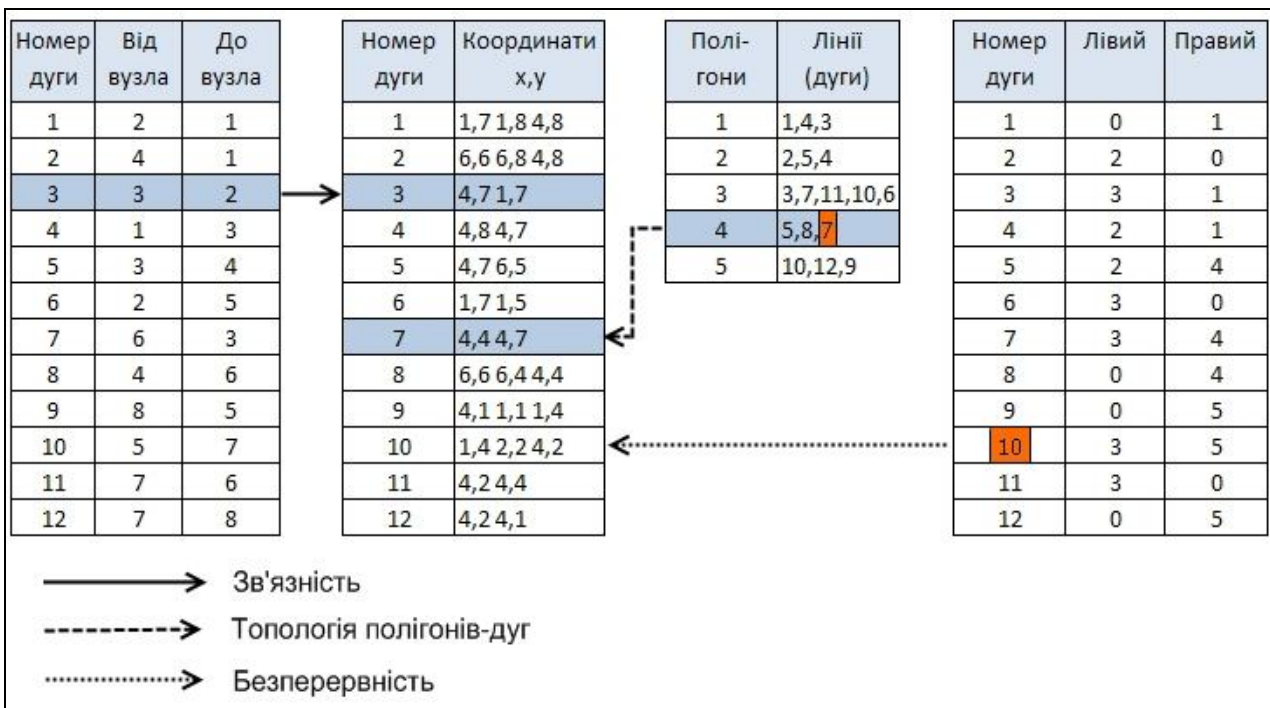


Рис. 8.38. Характеристики лінійно-вузлової моделі

Можна навести різні приклади топологічних властивостей для об'єктів лінійно-вузлової моделі, що будуть отримані з топологічних таблиць після побудови топології.

Наприклад, дуга може бути замкненою чи незамкненою, висячою чи ні; полігон може мати острови, а може й не мати; дві дуги можуть не мати спільних точок, а можуть мати спільні вузли; два полігони можуть мати або не мати спільні дуги; характер сусідства двох полігонів: тільки за вузлами, тільки за дугами, одночасно і за вузлами, і за дугами, що не перетинаються.

Топологічний розв'язок завдання ідентифікації всіх контурів даного полігона потребує розгляду топологічних зв'язків між дугами, що

утворюють межу тільки цього полігона. Визначення найбільш "великого" контуру серед усіх контурів даного полігона є складним топологічним завданням, розв'язання якого потребує залучення алгоритмів теорії графів та аналізу топологічних відношень між дугами не тільки конкретного полігона, але й між дугами інших полігонів лінійно-вузлової моделі.

Лінійно-вузлова модель подання просторових об'єктів разом з топологічними таблицями дозволяють ефективно реалізувати специфічну просторово-аналітичну обробку даних, яка є ядром ГІС і становить набір функцій типу просторової вибірки, оверлейних операцій, вилучення дуг між сусідніми полігонами тощо.

8.8.5. DIME-структура

Наприкінці 60-х років ХХ ст. у Бюро перепису США (US Bureau of the Census) при підготовці до чергового перепису населення було розроблено структуру збереження просторової інформації, названу за першими літерами слів Dual Independent Map Encoding (подвійне незалежне кодування карт) DIME-структурою. Ця структура відноситься до топологічних векторних структур даних.

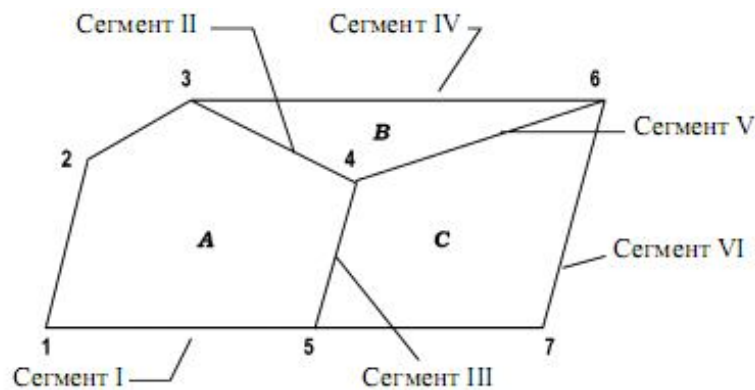
Основним елементом DIME-структури є *дуга* (arc), або *сегмент* (segment) – послідовність ліній, що починається і закінчується вузловими точками.

Під вузловою точкою (node) розуміють точку перетину трьох або більше ліній. Однак на сучасному етапі розвитку ГІС як вузлова точка найчастіше розглядається будь-яка початкова або кінцева точка послідовності ліній, що утворює сегмент або дугу. Так, зокрема, трактується поняття "вузлова точка" у рамках пакета IDRISI.

Приклад формалізації просторових даних із використанням DIME-структури, наведений на рис. 8.39.

У таблиці сегментів (в) і полігонів (ділянок) (г) додатково введені атрибутивні дані – довжини сегментів (дуг) і прізвища власників, площі та кадастрові номери ділянок.

Введення топологічних характеристик у структуру векторних даних дозволяє уникнути основного недоліку, притаманного точковим полігональним структурам, – необхідності подвійного обведення спільних меж і похибок, які при цьому виникають. Кожна точка при цьому запам'ятовується тільки один раз у складі якого-небудь сегмента (дуги) і може використовуватися багаторазово – стільки разів, скільки це буде необхідно.



а

Номера точок	Координата X	Координата Y	Номер сегмента	Початкова вузлова точка	Кінцева вузлова точка	Правий полігон	Лівий полігон	Довжина, м
1	x_1	y_1	I	5	3	A	O	2546
2	x_2	y_2	II	3	4	A	B	1140
3	x_3	y_3	III	4	5	A	C	644
4	x_4	y_4	IV	3	6	O	B	1652
5	x_5	y_5	V	6	4	B	C	1151
6	x_6	y_6	VI	6	5	C	O	1245
7	x_7	y_7						

б

в

Полігон (ділянка)	Сегменти	Власник	Площа, га	Кадастровий номер
A	I, II, III	Прищук І. Ф.	154,3	T-148442
B	II, IV, V	Хрущук С. О.	102	T-148443
C	III, V, VI	Непийпиво О. А.	115,8	G-446128

г

Рис. 8.39. Представлення картографічних даних з використанням DIME-структури: а – формалізація вихідної карти (жирним шрифтом виділені номери вузлових точок); б – таблиця координат опорних точок; в – таблиця сегментів; г – таблиця полігонів

8.8.6. Структура "дуга-вузол"

Наступним етапом DIME-структури є векторні топологічні структури типу "дуга-вузол" (Arc-Node Structure), або лінійно-вузлові структури векторних даних, у яких об'єкт у базі даних структурований ієрархічно, а базовими елементарними графічними об'єктами, крім точки, лінії і полігона, є дуга (або сегмент). Опис метричного навантаження карти в базі даних із використанням лінійно-вузлової структури векторних даних, як і в DIME-структурі, складається з трьох наборів даних [86]:

- 1) таблиці пар координат (x, y) точок введення, які представляють геометрію дуг;
- 2) таблиці атрибутів дуг;
- 3) таблиці атрибутів полігонів.

Але на відміну від DIME-структури, в таблиці атрибутів дуг наводяться тільки початкова (from) і кінцева (to) точки (вузли) кожної дуги.

Вказівки на лівий і правий полігони не наводяться. За потреби в структуру таблиць можуть бути введені атрибути, що характеризують точкові, лінійні або полігональні об'єкти. Це можуть бути, наприклад, характеристики початкових і кінцевих точок введення дуг, назви вулиць (лінійних об'єктів) і їх метричні характеристики, власники земельних ділянок (полігональних об'єктів), їхня площа й унікальні кадастрові номери (рис. 8.40).

Номера точок	Координата X	Координата Y	Номер сегмента	Початкова вузлова точка	Кінцева вузлова точка	Правий полігон	Лівий полігон	Довжина, м
1	x_1	y_1	I	5	3	A	O	2546
2	x_2	y_2	II	3	4	A	B	1140
3	x_3	y_3	III	4	5	A	C	644
4	x_4	y_4	IV	3	6	O	B	1652
5	x_5	y_5	V	6	4	B	C	1151
6	x_6	y_6	VI	6	5	C	O	1245
7	x_7	y_7						

а

б

Полігон (ділянка)	Сегменти	Власник	Площа, га	Кадастровий номер
A	I, II, III	Прищик І. Ф.	154,3	T-148442
B	II, IV, V	Хрущук С. О.	102	T-148443
C	III, V, VI	Непийшвио О. А.	115,8	G-446128

в

Рис. 8.40. Подання в базі даних фрагмента картографічної інформації, зображеного на рис. 8.31, з використанням структури "сегмент (дуга)-вузол":

а – таблиця координат опорних точок; *б* – таблиця сегментів;

в – таблиця полігонів

Лінійно-вузлові (топологічні) структури векторних даних у ГІС представлені досить великою кількістю різновидів. Варто відзначити модель TIGER (The Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing data format), яку було розроблено в Бюро переписів США для заміни DIME-структури наприкінці 80-х років ХХ ст., а також DLG-структуру (Digital Line Graph Structure) – стандарт Геологічної служби США (USGS) для пошарового кодування інформації, що міститься на топографічних картах і DLG-E – Digital Line Graph-Enhanced – розширену версію формату DLG, а також покриття (coverage) – топологічний векторний файл ГІС-пакетів фірми ESRI [86].

8.8.7. Геореляційна структура

Одним із найважливіших властивостей ГІС є те, що майже для будь-якого просторового об'єкта можна задати набір додаткових атрибутів у вигляді числових або символічних значень.

Останніми роками для організації векторних даних у рамках лінійно-вузлової моделі широко використовується реляційна, або геореляційна, структура даних, де метрична й топологічна інформація організована як лінійно-вузлова структура, а додаткова (атрибутивна) інформація зберігається в базі даних в окремих реляційних базах даних. З точки зору користувача, вся база даних у цій моделі складається з набору різних таблиць, що мають фіксовані набори стовпчиків (полів) і змінну кількість рядків (записів), які описують певні об'єкти.

Зв'язки між таблицями забезпечуються за допомогою ключових полів – спеціально виділених стовпчиків таблиць.

У полях реляційних таблиць можуть зберігатися дані тільки деяких певних типів: цілі та речовинні числа, рядки, логічні значення, дата, час, а також великі бінарні масиви (у BLOB-полях). Для роботи з реляційними базами даних розроблена спеціальна мова SQL (мова структурованих запитів), яка дозволяє виконувати модифікацію бази даних, а також виконувати пошук необхідних даних.

На рис. 8.41 представлено просту базу даних з двох таблиць, що містить відомості про земельні ділянки та їх власників.

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

Власник		
ID	Опис	Приватний власник
34	ТОВ «Мрія»	Ні
48	ЗАТ «Дельфін»	Ні
97	Іванов М.О.	Так
...

Рис. 8.41. Таблиця реляційної бази

Кожна з таблиць містить ключове поле (ключ) "ID", який унікально визначає об'єкт "Земельна ділянка" або "Власник" усередині відповідної таблиці. Зв'язки між таблицями здійснюються за допомогою ключових по-

лів. Для цього в таблиці "Земельна ділянка" спеціально виділено поле "Код власника", в якому запам'ятовується значення ключа з таблиці "Власник".

За потреби отримання імені власника для заданої земельної ділянки система СКБД отримає код власника в таблиці "Земельна ділянка", потім знайде в таблиці "Власник" запис з цим кодом і отримає з відповідного поля опис власника.

Одним із недоліків таблиці "Земельна ділянка" є те, що тут не зберігаються відомості про геометрію самої ділянки. Для цього, згідно з реляційним підходом, доцільно було б створити допоміжні таблиці та зберігати в них необхідну інформацію про полігони, що складають земельні ділянки. Однак швидкість роботи навіть найбільш ефективних СКБД не дозволяє оперативно використовувати геометричні дані, представлені в такому вигляді. "Оперативно" – це коли потрібно, наприклад, за частку секунди зобразити на екрані комп'ютера десятки і сотні тисяч земельних ділянок.

Саме тому в більшості ГІС застосовується геореляційний підхід, коли геометрія просторового об'єкта (наприклад, земельної ділянки) зберігається в окремому місці у спеціально розробленому форматі, а атрибути об'єкта – в деякій таблиці бази даних. При цьому зв'язок між геометрією й атрибутами здійснюється за допомогою ключа – унікального коду просторового об'єкта, приблизно так, як і в реляційних таблицях (рис. 8.42).



Рис. 8.42. Геореляційна база даних
(ліворуч – упорядкований список просторових об'єктів у шарі карти,
а праворуч – пов'язані з ними записи в базі даних)

В ГІС для зручності користувачів існує операція поєднання атрибутів просторових даних із таблицями зовнішніх баз даних. У результаті користувачеві здається, ніби він має справу зі звичайними таблицями баз даних, в яких додатково з'явився перший стовпчик з геометрією об'єктів. Для вищенаведеного прикладу із земельними ділянками отриманий результат, представлений на рис. 8.43.

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

Власник		
ID	Опис	Приватний власник
34	ТОВ «Мрія»	Ні
48	ЗАТ «Дельфін»	Ні
97	Іванов М.О.	Так
...

Рис. 8.43. Поєднання таблиць геореляційної бази даних

Після операції єднання можливе виконання операцій різних інформаційних запитів над з'єднаною таблицею. Наприклад, для земельних ділянок можна зробити запит на всі ділянки, що належать фізичним особам. Ці ділянки будуть виділені на карті в ГІС.

Іншою важливою особливістю ГІС після виконання єднання є автоматичне додавання і видалення записів у приєднаній таблиці. Так, при створенні на шарі карти нового полігона в приєднаній таблиці (в нашому прикладі в таблиці "Земельна ділянка") буде автоматично створено запис із необхідним значенням коду зв'язку ID. При видаленні полігона з карти пов'язаний запис буде вилучено.

Таким чином, геореляційна структура забезпечує однозначну відповідність точкових, лінійних і полігональних об'єктів атрибутивній інформації, яка дозволяє обирати й аналізувати інформацію, що міститься в базі даних, як за просторовими, так і за атрибутивними критеріями.

Також слід зазначити, що в більшості сучасних систем векторної формалізації метричних даних використовуються лінійні сегменти, які складаються з послідовних відрізків прямих ліній. Теоретично при необмеженому зменшенні відстані між точками введення, які обмежують ці відрізки, може бути описана будь-яка крива. Однак на практиці це призводить до надмірного збільшення витрат ручної праці при введенні складних кривих.

Розроблено різні методи апроксимації кривих, які дозволяють уникнути надмірного зменшення кроку дигітизування при введенні навіть дуже складних кривих (меж ґрунтових чи ландшафтних контурів, берегової лінії, русел річок, горизонталей, трас доріг тощо). Найчастіше з цією метою використовуються аналітичні методи опису відрізків кривих, як дуг кіл змінного радіуса, або із застосуванням сплайнів.

Майже в усіх ГІС геометрія й атрибутика просторових об'єктів зберігаються в різних файлах. Це пов'язано з двома основними причинами. По-перше, це низька швидкість добування і зміни геометричної інформації

з баз даних, що керуються звичайними системами СКБД порівняно зі звичайними файлами. Частково це пов'язано з низькою пропускнуою спроможністю каналів зв'язку між сервером із СКБД, який не дозволяв передавати з сервера на комп'ютер користувача інформацію про просторові об'єкти, що повинні виводитися на екран практично в режимі реального часу. Крім того, низька швидкість пов'язана з тим, що геометрія лінійних і полігональних об'єктів повинна зберігатися в допоміжних таблицях або в BLOB-полях, що також суттєво знижує швидкість звернення до даних.

По-друге, збереження геометрії об'єктів у базі даних не дає тих переваг, які є при збереженні звичайних негеометричних даних. Наприклад, у звичайних БД є декілька ключових понять, що використовуються практично в усіх прикладних базах даних. Це обмеження цілісності, які не дозволяють уводити некоректні значення в окремі поля таблиць і створювати некоректні посилання між таблицями бази даних; блокування, що забороняють редагувати окремі поля або цілі таблиці бази даних; транзакції, які дозволяють виконувати великі зміни БД, але у разі помилки під час транзакції повертають стан усієї БД в первісний стан.

Але усі ці обмеження цілісності, блокування і транзакції мало застосовуються для просторових об'єктів. Так, обмеження цілісності в ГІС мають геометричний характер (наприклад, заборонене перетинання ліній доріг і річок, оскільки перетинання річок дорогами повинне бути тільки через міст) і їх дуже важко описати стандартними засобами СКБД (у вигляді процедур, що зберігаються на мові SQL). Блокування в ГІС повинні також мати просторовий характер, наприклад, для забезпечення можливості паралельної роботи багатьох користувачів з однією картою потрібно заблокувати певний регіон цієї карти, що призводить до необхідності блокування цілих таблиць у СКБД.

Класичні транзакції в теорії баз даних отримали назву коротких транзакцій, щоб підкреслити, що процес введення даних в СКБД займає небагато часу. При цьому, поки виконується транзакція одним користувачем, робота іншого користувача повинна бути заблокована, щоб не порушувати цілісність бази даних.

У ГІС потрібно виконувати довгі транзакції, протягом яких користувач може змінювати стан множини взаємозалежних шарів карти. При цьому в процесі редагування більшість геометричних обмежень цілісності може порушуватись. Після введення даних (для завершення довгої транзакції) користувач повинен привести базу даних (карту) знову в припустимий стан. Довга транзакція може виконуватися тривалий час (дні і навіть тижні). Очевидно, що під час введення даних одним користувачем не можна блокувати всю базу даних від змін іншими користувачами на такий тривалий час.

З іншого боку, можливість збереження геометрії спільно з атрибутикою в базі даних створила б певні переваги, але тільки після вирішення вищенаведених проблем.

Врешті-решт, все це призвело до розробки різних розширень і надбудов над звичайними СКБД, які дозволяють створювати повноцінні просторові бази даних, відповідають усім сучасним вимогам ГІС. Консорціум розробників мови SQL запровадив в останньому стандарті мови SQL 3 відповідні розділи, що регламентують основи роботи з просторовими базами даних.

Головною перевагою сучасних просторових баз даних є те, що в них можна інтегрувати геометрію, атрибутику і поведінку об'єктів. Все це відповідає основним принципам об'єктно орієнтованого підходу, який на сучасному етапі є основним при створенні будь-яких програмних систем.

Найбільш поширеними є дві надбудови над промисловими СКБД, які реалізують вимоги стандарту SQL 3 і тісно інтегровані з провідними світовими ГІС. Це ArcSDE (Spatial Database Engine) компанії ESRI, Inc. (США) і SpatialWare компанії MapInfo, Inc. (США).

Модель геобаз даних ArcSDE 8.x/9.x є логічним розвитком топологічної моделі даних (покриття), дозволяючи створювати, за потреби, й аналоги нетопологічної моделі шейп-файлів. Крім того, модель геобаз дозволяє створювати мережі, визначати просторові відношення між об'єктами і вводити нові об'єктно орієнтовані сутності.

Одним з найбільш помітних досягнень ArcSDE є введення технології версій, призначених для виконання операцій "довгі транзакції", які дозволяють відмовитись від традиційних блокувань у регіонах.

8.8.8. TIN-модель

TIN (Triangulation Irregular Network – триангуляційна нерегулярна мережа) – модель поверхні у вигляді мережі суміжних трикутних граней, що не перетинаються і які покривають поверхню та визначені по вузлах і ребрах. Triangulation (триангуляційна) – вказує спосіб побудови оптимізованого набору трикутників за набором точок; Irregular (нерегулярна) – точки можуть бути взяті зі змінною щільністю для моделювання ділянок поверхні, де різко змінюється рельєф; Network (мережа) – відбиває топологічну структуру даної моделі. Структура TIN будується шляхом об'єднання відомих точкових значень у серії трикутників за алгоритмом триангуляції Делоне.

Геометрія моделі TIN утворюється гранями, вузлами й ребрами у тривимірному просторі (рис. 8.44) [86].

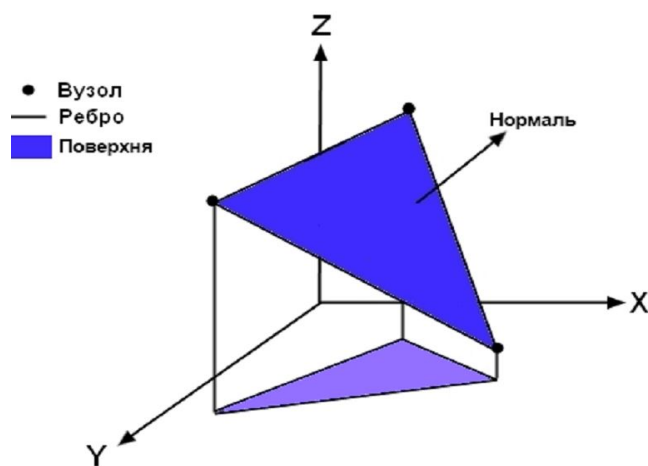


Рис. 8.44. Геометрія моделі TIN [86]

Грань (Face) – поверхня трикутника в тривимірному просторі.

Вузол (Node) – вершина трикутника з координатами X, Y, Z .

Ребро (Edge) – сторона трикутника в тривимірному просторі.

Модель TIN має наступні властивості:

- дозволяє отримати точне уявлення про локальну частину поверхні, використовуючи змінну щільність вузлів зі значенням Z (висоти) і лінії перегину поверхні;

- є основою 3D-візуалізації поверхні;

- дозволяє виконати складний аналіз поверхні (обчислення висот, ухилів, експозицій схилів, отримання ізоліній поверхні, розрахунки об'ємів, вертикальні профілі по трасі лінії, аналіз видимості).

Вихідними даними для побудови TIN є набір точок з координатами X, Y, Z . Задача полягає в тому, за по цим набором точок створити мережу суміжних трикутників, що не перетинаються. Задача побудови триангуляції за набором точок є однією з базових в обчислювальній геометрії. До неї зводяться більшість інших задач, вона широко використовується у машинній графіці та ГІС для моделювання поверхонь і розв'язання просторових задач.

Задача побудови триангуляції за вихідним набору точок є неоднозначною, тому виникає питання: а яка з усіх триангуляцій найкраща? Наприклад, оптимальним розв'язком можна вважати такий, при якому сума довжин усіх ребер буде мінімальною серед усієї множини можливих триангуляцій, побудованих на тих же вихідних точках. Розв'язок задачі за такої умови має високу трудомісткість [44].

За визначенням Делоне, три точки формують трикутник в триангуляції тоді та тільки тоді, коли в окружності, описаній навколо цього трикутника, немає інших точок розбивки (рис. 8.45). Кожне обмежуюче трикутник коло не містить точок з набору в його середині (рис. 8.45, б).

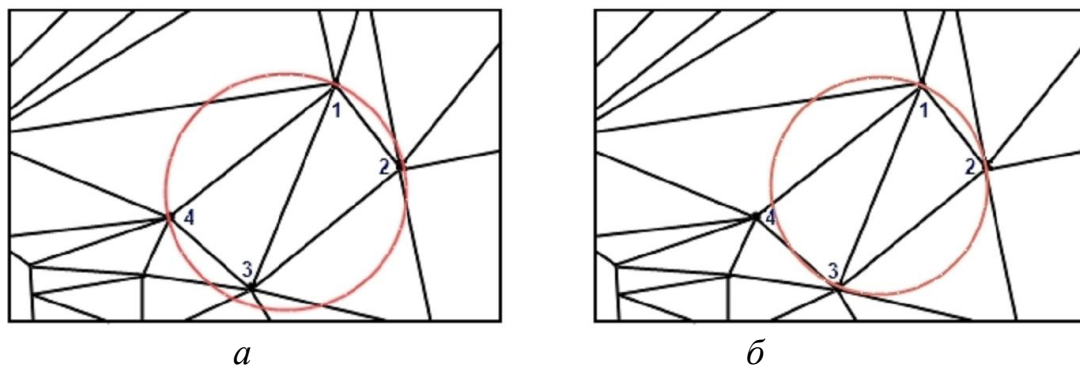


Рис. 8.45. Формування трикутника в триангуляції Делоне:

а – коло, побудоване за точками 1, 2, 4, включає точку 3;

б – коло, побудоване за точками 1, 2, 3, не включає точку 4

Один з алгоритмів побудови триангуляції Делоне заснований на генеруванні полігонів Тиссена (Thiessen) або Вороного. Для цього поверхня

розбивається на області, в яких кожна точка розташована найближче до якогось вузла мережі – генеруючої точки. Отримані межі називають полігонами Тиссена або полігонами Вороного.

Дві точки з'єднуються лінією в триангуляції Делоне, якщо їх полігоми Тиссена (рис. 8.46) мають спільну межу. Цей метод дозволяє отримати потрібні трикутники. Полігоми Тиссена використовуються також при аналізі близькості.

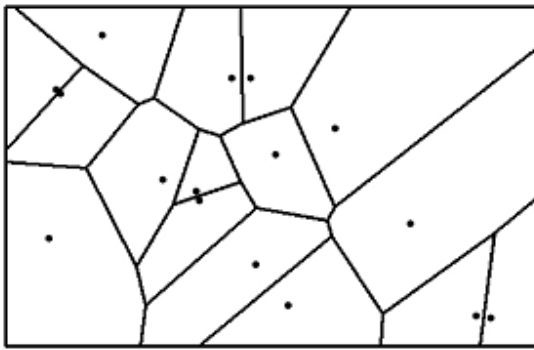


Рис. 8.46. Полігоми Тиссена

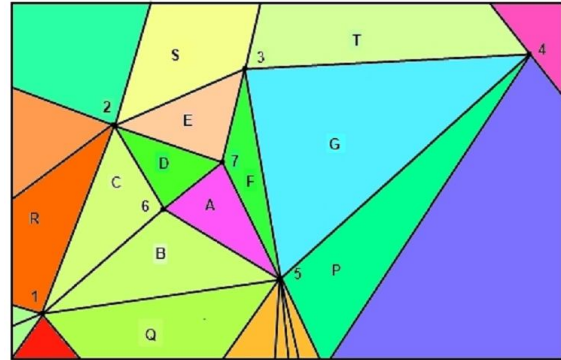


Рис. 8.47. TIN-модель

8.9. Топологія в TIN-моделі

Модель TIN – це топологічна структура даних: ребра з'єднуються у вузлах; кожний трикутник межує із сусідніми трикутниками.

Топологічні відношення створюються шляхом створення в базі даних для кожного вузла вказівки на суміжні вузли. Простір навколо території представляється фіктивним вузлом.

Модель TIN (рис. 8.47) у цифровому вигляді описується пов'язаними файлами – файлом вершин (табл. 8.5), файлом покажчиків і файлом трикутників (табл. 8.6). Для кожної точки розбивки зберігається її унікальний номер, координати і список точок, з якими вона з'єднана прямими (за годинниковою стрілкою).

Таблиця 8.5
Список вершин

Вершина	X	Y	Z
1	X ₁	Y ₁	Z ₁
2	X ₂	Y ₂	Z ₂
3	X ₃	Y ₃	Z ₃
4	X ₄	Y ₄	Z ₄
5	X ₅	Y ₅	Z ₅
6	X ₆	Y ₆	Z ₆
7	X ₇	Y ₇	Z ₇

Таблиця 8.6
Список трикутників

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

8.10. Етапи створення TIN-моделі

Модель TIN створюється в наступній послідовності.

Етап 1. Задання множини точок і за координатами X, Y, Z (рис. 8.48).

Етап 2. Побудова триангуляції Делоне (рис. 8.49).

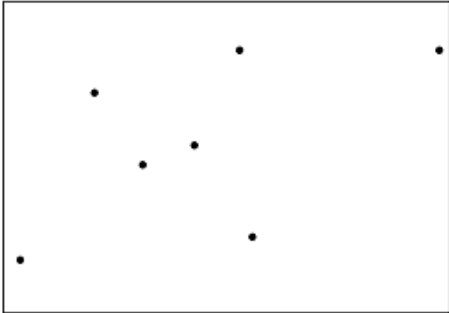


Рис. 8.48. Множина точок

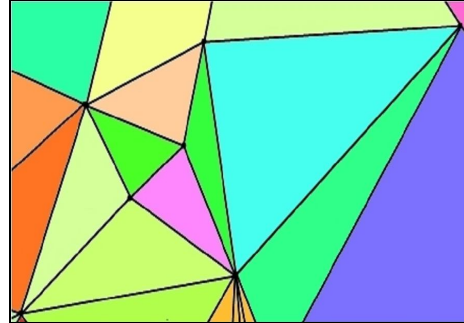


Рис. 8.49. Побудова триангуляції Делоне

Етап 3. Введення ліній перегину поверхні (Breakline) і модифікація TIN з урахуванням ліній перегину. Лінії перегину рельєфу визначають різкі зміни поверхні, такі як лінія верху, низу, укосу, гребеня, тальвегу тощо (рис. 8.50).

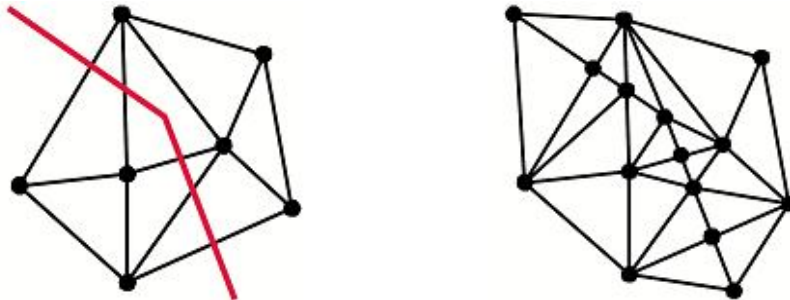


Рис. 8.50. Лінії перегину поверхні [86]

Етап 4. Введення областей виключення (Exclusion areas) з постійним значенням Z і модифікація TIN з урахуванням полігональних об'єктів, наприклад водної поверхні (рис. 8.51).

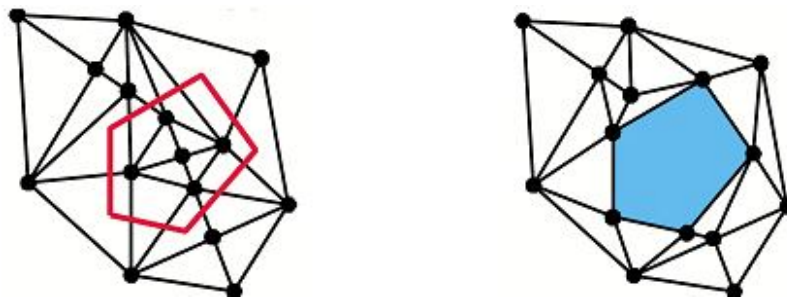


Рис. 8.51. Области виключення [86]

Етап 5. Розв'язання задач за моделлю TIN поверхні.

У TIN-моделі просторове положення трикутника характеризує нормаль до його грані (рис. 8.52) [89].

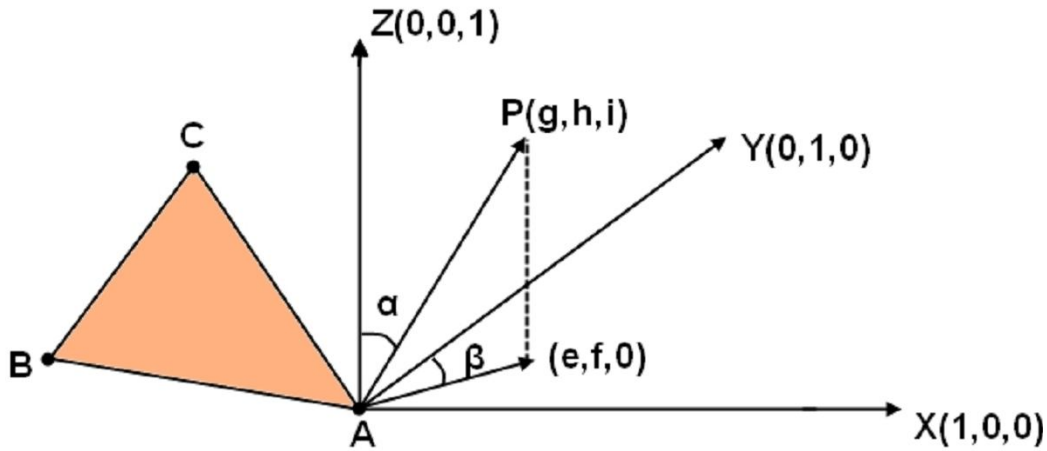


Рис. 8.52. Нормаль P до грані трикутника [86]

Трикутник задається трьома точками (x_a, y_a) , (x_b, y_b) , (x_c, y_c) . Нормаль P до площини трикутника визначається нормальним вектором $P = \{p_a, p_b, p_c\}$, який утворюється в результаті векторного добутку векторів AB і AC двох його сторін. Для нормального вектора P кожного трикутника обчислюються:

1) прямокутні декартові координати:

$$\begin{aligned} p_a &= [(y_b - y_a) \cdot (z_c - z_a) - (z_b - z_a) \cdot (y_c - y_a)]; \\ p_b &= [(z_b - z_a) \cdot (x_c - x_a) - (x_b - x_a) \cdot (z_c - z_a)]; \\ p_c &= [(x_b - x_a) \cdot (y_c - y_a) - (y_b - y_a) \cdot (x_c - x_a)]; \end{aligned}$$

2) напрямні косинуси:

$$\begin{aligned} g &= \frac{p_a}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}}; \\ h &= \frac{p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}}; \\ i &= \frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}}; \end{aligned}$$

3) проєкції до горизонтальної площини:

$$e = \frac{p_a}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}};$$

$$f = \frac{p_b}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}}$$

Ці залежності є базовими для розв'язку задач відображення та аналізу поверхні [86].

8.11. Засоби TIN для відображення поверхні

Модель TIN має ефективні засоби відображення поверхні за допомогою експозиції схилів, крутості граней, затінення граней, діапазонів висот для поверхні [86].

Експозиція схилу. Експозиція (Aspect) окремої грані визначається кутом β як напрямком проєкції нормалі на горизонтальну поверхню відносно напрямку на північ (рис. 8.53). Кут обчислюється за формулою [86]:

$$\beta = \arccos(f) = \arccos\left(\frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2}}\right)$$

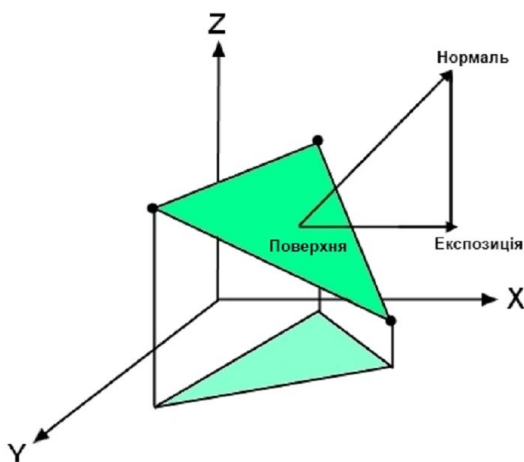


Рис. 8.53. Відображення експозиції схилів

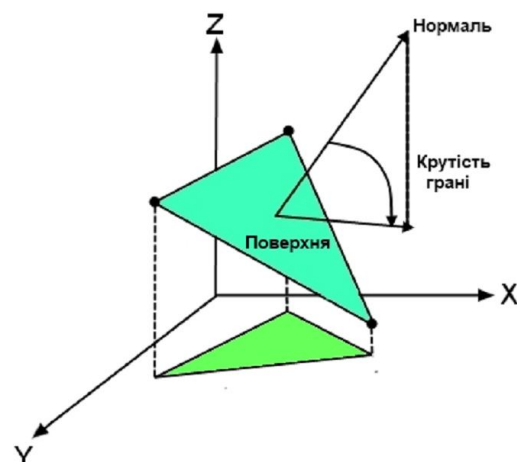


Рис. 8.54. Відображення крутості граней

Крутість грані. Крутість грані (Slope) представляється кутом нахилу нормалі до горизонтальної лінії. Він визначається як доповнення до 90° кута α (рис. 8.54) [86]:

$$\alpha = \arccos(i) = \arccos\left(\frac{p_c}{\sqrt{p_a^2 + p_b^2 + p_c^2}}\right)$$

Затінення граней. Затінення граней (Hillshading) визначається відносно вектора напрямку на Сонце. Положення Сонця задається азимутом

(Azimuth) та кутом піднесення над горизонтом (Altitude) Сонця. Задача розрахунку затінення схилів використовується для аналізу освітленості Землі.

У зв'язку з цим часто виникає потреба додаткового урахування поточного положення Сонця.

Таким чином, кожний трикутник триангуляції може класифікуватись за принципом належності до того або іншого регіону. Після цього потрібно просто використати алгоритм виділення регіонів (рис. 8.55) [86].

Діапазони висот. Для відображення діапазонів висот (Range of elevations) висота довільної точки усередині трикутника визначається за рівнянням площини, заданої вершинами трикутника. Площина з нормальним вектором $P = \{p_a, p_b, p_c\}$, що проходить через точку $M(x_0, y_0, z_0)$, описується рівнянням [86]:

$$p_a(x - x_0) + p_b(y - y_0) + p_c(z - z_0) = 0.$$

Звідси за відомими значеннями x та y знаходяться висоти довільних точок (рис. 8.56).

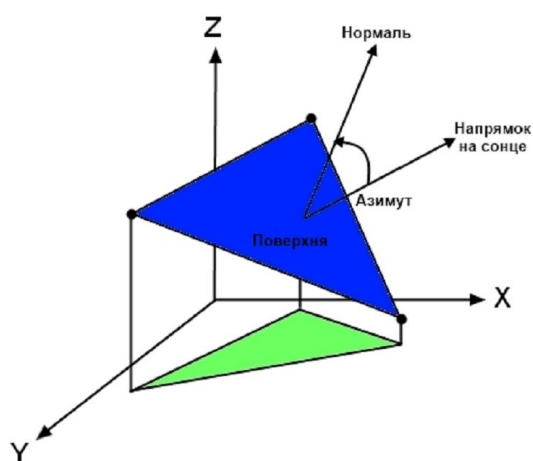


Рис. 8.55. Відображення затінення граней

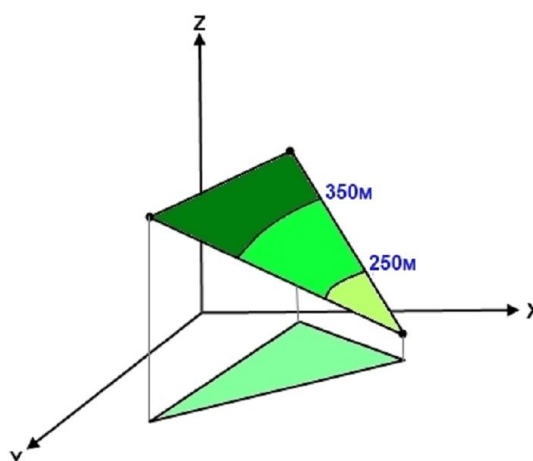


Рис. 8.56. Відображення діапазонів висот

Інтерполяція ізоліній виконується по кожній грані триангуляції.

8.12. Ланцюгове кодування

Ланцюгові коди застосовуються для представлення межі об'єкта у вигляді послідовності відрізків прямих ліній певної довжини і напрямку. В основі цього представлення лежить 4- або 8-зв'язна решітка. Довжина кожного відрізка визначається розрізненням (роздільною здатністю) решітки, а напрямки задаються обраним кодом.

Специфічним методом опису об'єктів є восьмизв'язний ланцюговий код Фрімана (Freeman Chain Code). Це набір із восьми цифр (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), кожна з яких кодує один із восьми фіксованих напрямків. Опис

форми будь-якої кривої є послідовністю цифр, що характеризують напрямки на кожному кроці дигітизування. Так, контур об'єкта, який представлений на фрагменті "б" (рис. 8.57), описується за допомогою рядка: 00011222234445566667.

Ідея простого ланцюгового коду полягає в тому, що для будь-якої зв'язаної лінії на растрі кодуються координати початкового пікселя, а для кожного наступного пікселя ланцюга як код використовується його приріст, який визначає перехід на один із суміжних пікселів (рис. 8.57 б). Оскільки таких суміжних пікселів усього 8, то для кодування кожного пікселя необхідно 3 біта інформації.

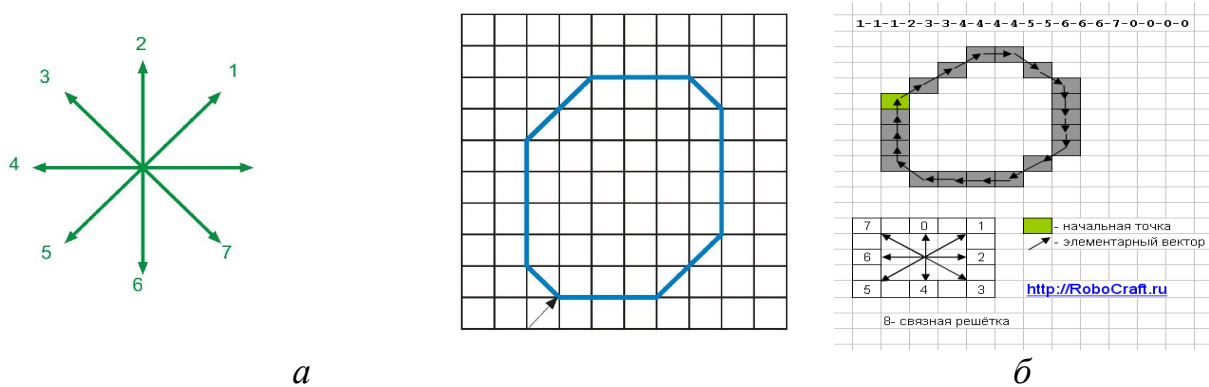


Рис. 8.57. Восьмизв'язний код Фрімана (а) і приклад його застосування (б)

Знаючи ланцюговий код лінії, можна доволі легко обчислити різні параметри ареалів, що нею обмежується, наприклад, площу, периметр, максимальну висоту і ширину тощо.

Ланцюгове кодування (chain encoding) векторних даних використовується як спосіб стиснення векторної інформації у випадках, коли відстань між точками введення настільки мала, що приріст координат між суміжними точками виражається малими частками одиниці, як у наведеному нижче прикладі:

(45,4580;30,7288);
 (45,4571;30,7292);
 (45,4566;30,7284);
 (45,4561;30,7274).

При ланцюговому кодуванні повністю записуються лише координати першої точки. Для решти вказується приріст координат між поточною точкою і попередньою, виражений у тисячних частках одиниці із зазначенням знака:

(45,4580;30,7188) (-09,+04) (-05,-08) (-05,-10).

Таким чином досягається істотне стиснення інформації. Однак можливості застосування даного методу кодування обмежені дуже незначними змінами координат між сусідніми точками введення (не більше 0,0099 (Core Curriculum, 1991)).

8.13. Вибір способу формалізації та перетворення структур даних

Вибір моделі (рис. 8.58) залежить від типів об'єктів і засобів виділення необхідної інформації при виконанні тих чи інших запитів.



Рис. 8.58. Геоінформаційне картографування

Векторна модель є дуже зручною для опису дискретних об'єктів, а растрова – для роботи з об'єктами, що мають безперервні властивості. Векторна форма подання даних із топологічними даними надає можливість відображати різні просторові об'єкти, процеси, явища з різним ступенем деталізації і виконувати велику кількість різноманітних запитів.

Растрова форма подання геометричної інформації необхідна при відображенні елементів, які безперервно змінюються в просторі.

До переваг растрових структур потрібно віднести злиття позиційних і семантичних атрибутів просторової інформації в одній прямокутній

матриці. Оскільки растрова модель містить інформацію про те, що розташовано в тій або іншій точці території, то при використанні цієї моделі зникає потреба використання спеціальних засобів збереження й обробки семантики просторових даних (як це відбувається у векторних структурах), що суттєво спрощує аналітичні операції з растровими зображеннями, зокрема, оверлейний аналіз.

До інших переваг растрових моделей потрібно віднести:

- растр не потребує попереднього вивчення явища, дані збираються з рівномірно розташованої мережі точок, що дозволяє в подальшому на основі статистичних методів обробки отримувати об'єктивні характеристики досліджуваних об'єктів. Завдяки цьому растрові моделі можуть використовуватись для дослідження явищ і процесів, попередня інформація про які відсутня;

- растрові моделі, на відміну від векторних моделей, дозволяють використовувати паралельні алгоритми обробки, забезпечуючи при цьому високу швидкість опрацювання інформації;

- растрові моделі істотно спрощують створення буферних зон;

- растрові моделі дозволяють вводити векторні дані, на відміну від векторних, де зворотна процедура вкрай ускладнена;

- процеси растеризації алгоритмічно істотно простіші, на відміну від процесів векторизації, які вимагають експертних рішень.

8.14. Порівняння векторних і растрових моделей подання просторових даних

Основними недоліками растрового подання даних є значна ємність машинної пам'яті, необхідної для збереження растрових даних; відносно висока вартість сканерів, що забезпечують автоматизоване введення інформації; а також недостатньо висока точність позиціонування точкових об'єктів і зображення ліній, особливо похилих, зумовлена генералізацією інформації в межах комірки растру.

Основними перевагами векторного подання даних є компактність збереження (яка на порядок вища, ніж при растровому збереженні), висока точність позиціонування точкових об'єктів і зображення ліній.

Однак векторні моделі мають складну систему опису топологічної структури даних, внаслідок чого їх обробка вимагає виконання складних геометричних алгоритмів визначення положення вузлових точок, стикування сегментів (дуг), замикання полігонів тощо. Це значно сповільнює маніпулювання векторними даними, особливо на персональних комп'ютерах із порівняно невеликою швидкістю.

Порівняння переваг і недоліків двох основних структур просторових даних показує, що вони взаємно протилежні один одному – переваги одного способу формалізації є недоліками іншого, і навпаки. Це визначає необхідність застосування в рамках ГІС обох способів, а отже, можливості перетворення (конвертації) однієї структури на іншу, і навпаки (виконання так званих векторно-растрових і растрово-векторних перетворень), що на даному етапі розвитку ГІС реалізовано в усіх досить потужних геоінформаційних пакетах. При цьому розв'язання різних завдань доцільно виконувати з використанням того способу формалізації просторових даних, який у даному разі є більш ефективним.

Для картографічного виробництва використання даних, поданих у векторному або растровому форматі, не є принциповим. У той же час растрові дані можуть бути засобом підвищення якості створюваної картографічної продукції. Тому для підвищення якості карт перед їх друкуванням застосовується растеризація зображень.

ГІС з розвиненими можливостями забезпечує одночасну роботу як з растровою, так і з векторною моделями даних, тому такі ГІС інколи називають гібридними (растрово-векторними).

Необхідність поєднання в одному програмному засобі можливостей оперування з растровими і векторними моделями (рис. 8.59) зобов'язує мати засоби конвертування даних з одного формату в інший, які реалізують апарат растрово-векторних і векторно-растрових перетворень.

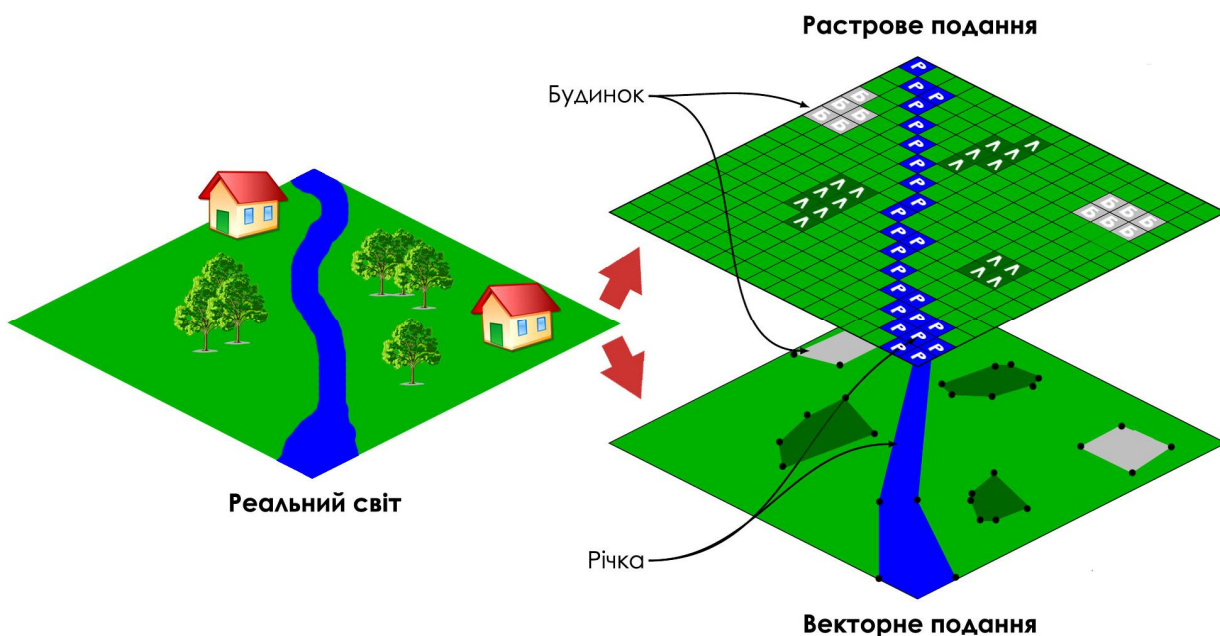


Рис. 8.59. Подання об'єктів растровою і векторною моделями

Порівняння растрової і векторної моделей даних

Властивість / Модель даних	Растрова	Векторна
Масштабованість	–	+
Надмірність (об'єм даних)	–	+
Передача безперервних властивостей	+	–
Передача дискретних об'єктів	–	+
Легкість створення	+	–

Враховуючи переваги і недоліки, векторні структури рекомендується використовувати для збереження феноменологічно-структурованої інформації (грунтові та рослинні ареали, ареали використання земель тощо), для мережевого аналізу, у тому числі транспортних і телефонних мереж, а також для підвищення якості відображення при картографуванні лінійних об'єктів. Растрові структури застосовуються для швидкого і дешевого накладення карт, просторового аналізу, а також для моделювання в тих випадках, коли доводиться працювати з поверхнями (наприклад, топографічними) (Burrough, 1986).

Дуже ефективним, зокрема для високоякісного картографування, є поєднання векторного і растрового форматів з використанням векторного формату для збереження і побудови ліній, а растрового – для наповнення (розфарбування) площ.

Перетворення векторного зображення на растрове (піксельне) називається раструванням, або рендерингом.

Ідея векторно-растрового перетворення досить проста: точка замінюється коміркою, лінія – послідовністю комірок, територіальний об'єкт (полігон) – сукупністю комірок із заданим розміром. Растрово-векторне перетворення полягає у зведенні вмісту кожної комірки до точки, положення якої відповідає геометричному центру. При цьому укладається угода, наприклад, про те, що при перетворенні ліній на растр значущими стають усі комірки, через які проходить лінія, а при перетворенні полігонів – тільки ті з них, у яких межею полігона відтинається значна частина комірки, як це показано на рис. 8.60.

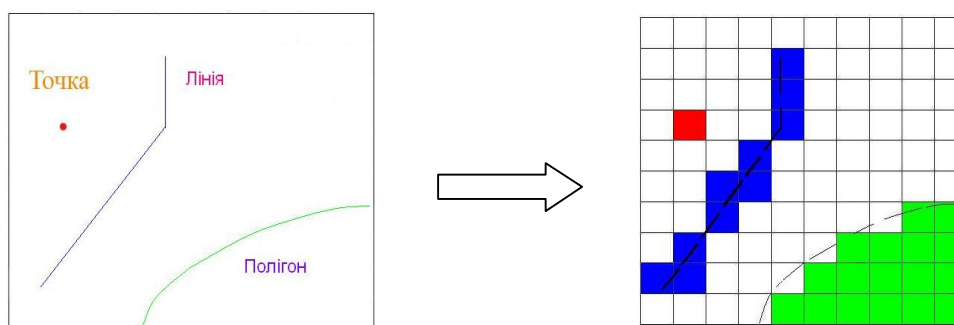


Рис. 8.60. Схема перетворення (конвертації) векторних даних на растрові

Принцип конвертації растрових структур просторових даних у векторні також очевидний: зміст кожної комірки зводиться до точки, положення якої відповідає, наприклад, геометричному центру цієї комірки.

Однак на практиці реалізація цього принципу ускладнюється розмитістю лінійних об'єктів і територіальних меж, наявністю шумів, особливо при векторизації даних дистанційного зондування або растрових зображень, отриманих шляхом сканерного введення.

У цьому разі необхідне проведення попередньої обробки растрових зображень з метою "придушення" шумів, "стоншення" лінійних об'єктів і територіальних меж, "скелетизації" зображення.

Необхідно також зазначити, що існують пропозиції щодо комбінованих растрово-векторних представлень просторових даних, які поєднують переваги растрового і векторного представлень і не потребують векторно-растрового або растрово-векторного перетворення. До таких комбінованих моделей просторових даних відносять матрично-символьні структури, що є узагальненням квадротомічних структур даних, і растрове представлення, основною логічною одиницею якого є система, яка поєднує декілька рядків сканування та містить елементи векторного і растрового представлень.

Таблиця 8.8

Переваги	
Растрова модель	Векторна модель
1. Проста структура даних	1. Компактна структура
2. Ефективні оверлейні операції	2. Топологія
3. Робота зі складними структурами	3. Якісна графіка
4. Робота зі знімками	

Порівняння векторних моделей географічних об'єктів представлено в табл. 8.9.

Таблиця 8.9

	Прості нетопологічні моделі	Топологічні моделі
1	Можливі незамкнені полігони	Однозначне подання області
2	Можлива відсутність зв'язаності ліній	Дуги, пов'язані через вузли
3	Неефективне збереження даних	Ефективне збереження даних
4	Відсутня можливість аналізу даних	Можливість аналізу даних

8.15. Аналіз подання геооб'єктів векторними моделями

Узагальнена характеристика подання географічних об'єктів векторними моделями наведено в табл. 8.10.

Таблиця 8.10
Подання геооб'єктів векторними моделями [19]

Призначення моделі	Векторні дані орієнтовані на моделювання дискретних просторових об'єктів з точним визначенням форм і меж
Джерела даних	Компіляція матеріалів аерофотозйомки, збір GPS визначень, оцифровка паперових карт, оцифровка на дисплеї, векторизація растрових даних, побудова ізоліній рельєфу, обробка даних топографічних зніманих, імпорт з САД креслень
Збереження просторових даних	Точки зберігаються як координатні пари. Лінії – як послідовність координатних пар. Полігони – як замкнена послідовність координатних пар
Подання просторових об'єктів	Точками подають такі географічні об'єкти, розмірами яких для конкретної мети можна знехтувати. Лініями подають такі географічні об'єкти, які є настільки вузькими, що мають довжину, але не мають ширини. Полігонами подають такі географічні об'єкти, які мають місце розташування, форму та площу
Топологічні відношення	Топологія ліній ґрунтується на принципі, згідно з якими лінії зв'язуються у вузлах. Топологія полігонів ґрунтується на принципі, згідно з яким полігони знаходяться ліворуч і праворуч від лінії
Геопросторовий аналіз	Топологічний оверлей карт, генерування буферів і аналіз близькості, розчинення полігонів та оверлей, просторові і логічні запити, адресне геокодування, мережевий аналіз
Картографічна продукція	Векторні дані кращі для креслення точної форми і місця розташування просторових об'єктів. Вони не придатні для безперервних явищ або просторових об'єктів з нечіткими межами

Точність розміщення об'єкта у векторній моделі обмежена невизначеністю його положення на вихідній паперовій карті: лінії на карті мають товщину 0,1 мм, що в масштабі, наприклад, 1:200 000 відповідає 20 м на місцевості – гранична точність даного масштабу.

ІХ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ

*Неможливо розв'язати проблему на тому ж рівні, на якому вона виникла. Потрібно стати вище цієї проблеми, піднявшись на наступний рівень.
Альберт Ейнштейн*

Одним із компонентів програмного забезпечення ГІС є бази даних, де міститься просторова і атрибутивна інформація. Збереження та накопичення даних є однією з основних дій, здійснюваних над інформацією, яка забезпечує її доступність протягом певного проміжку часу.

Збором і накопиченням даних, коригуванням, сортуванням та відбором необхідних даних тією або іншою мірою займається кожна людина, кожен фахівець, незалежно від сфери своєї діяльності. Протягом життя людина накопичує різноманітні дані: телефони, адреси, імена та дати народження друзів і знайомих; відомості про те, які книги зберігаються у власній бібліотеці, які ігри, аудіо- та відеозаписи знаходяться на дисках тощо. Для забезпечення зручного користування цими даними їх необхідно зберігати в систематизованому вигляді.

Для того щоб інформація, яка накопичена окремою людиною або суспільством, була доступною для подальшого використання, її зберігають у систематизованому вигляді в спеціальних сховищах – базах даних.

9.1. Передумови виникнення концепції баз даних

Незважаючи на суттєві досягнення сучасних систем керування базами даних (СКБД), що здійснені за декілька останніх десятиліть, треба відзначити, що обробка інформації головним чином з метою обліку ресурсів має історію в декілька тисяч років. Проте обробка цієї інформації здійснювалась переважно вручну. І тільки на початку ХХ ст. з'явилась можливість її опрацьовувати автоматизовано, за допомогою перфокарт.

В історії обчислювальної техніки можна прослідкувати розвиток двох основних напрямків її використання.

Перший напрямок – застосування обчислювальної техніки для виконання числових розрахунків, які або дуже довго або взагалі неможливо проводити вручну. Розвиток цього напрямку сприяв інтенсифікації методів числового розв'язку складних математичних завдань, появі мов програмування, які були розраховані виключно на обробку числової інформації (Fortran, Algol), орієнтованих на зручний запис числових алгоритмів,

становленню зворотного зв'язку з розробниками нової архітектури ЕОМ. Характерною особливістю даного напрямку застосування обчислювальної техніки є наявність складних алгоритмів обробки, які застосовуються до простих за структурою даних, об'єм яких порівняно невеликий.

Другий напрямок – це використання засобів обчислювальної техніки в автоматичних або автоматизованих інформаційних системах (ІС)³⁴. Зазвичай такі системи мають справу з великими обсягами інформації, що мають доволі складну структуру. Класичними прикладами ІС є банківські системи, автоматизовані системи управління (АСУ) підприємствами, системи резервування авіаційних або залізничних квитків, місць у готелях тощо.

Даний напрямок використання обчислювальної техніки виник трохи пізніше першого. Це пов'язано з тим, що на зорі розвитку обчислювальної техніки можливості комп'ютерів зі збереження інформації були доволі обмеженими. Дані подавались у вигляді простих послідовних файлів на магнітній стрічці, були частиною програм і розташовувались відразу за кодом програми в так званому сегменті даних (рис. 9.1), тобто залежали від програм обробки.

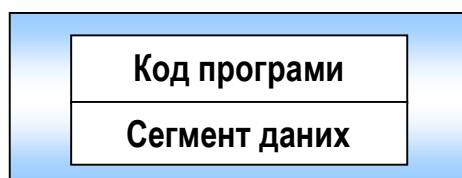


Рис. 9.1. Дані як частина програм

Якщо змінювалась організація даних або тип запам'ятовуючого пристрою, програмісту доводилось заново переписувати програму, що призводило до численних версій одного й того ж файлу, а отже, й до високого ступеня дублювання даних, їх надлишковості.

Наступним кроком стало збереження даних в окремих файлах (рис. 9.2).



Рис. 9.2. Збереження даних в окремих файлах

Прикладні програми самі визначали розташування даних на магнітній стрічці чи барабані й здійснювали обмін інформацією між оперативною та зовнішньою пам'яттю за допомогою програмно-апаратних засобів

³⁴ **Інформаційна система** (англ. information system) – сукупність організаційних і технічних засобів для збереження та обробки інформації з метою забезпечення інформаційних потреб користувачів.

низького рівня (машинних команд або викликів відповідних програм операційної системи).

Такий спосіб роботи не дозволяв або дуже ускладнював підтримку на одному зовнішньому носіїв кількох архівів інформації, якщо вони мали зберігатися тривалий час. Крім того, для кожної прикладної програми доводилося вирішувати проблеми іменування частин даних та їхньої структуризації в зовнішній пам'яті [89].

Недоліком цих двох підходів була залежність програм від даних: відомості про структуру даних включались до коду програми. При зміні структури даних виникала потреба внесення змін у програмі.

Логічним продовженням цієї еволюції є перенесення опису даних до масиву даних (рис. 9.3). Це дозволило забезпечити незалежність даних від програм.

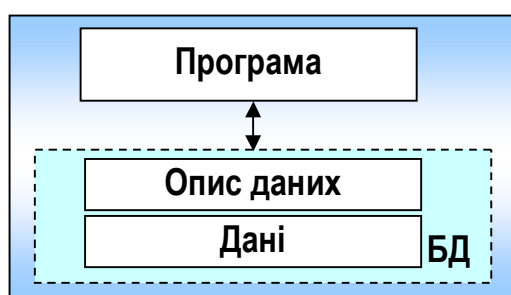


Рис. 9.3. Забезпечення незалежності даних від програм

Таким чином склалося два підходи до організації інформаційних масивів:

- файлова організація інформаційних масивів;
- організація інформаційних масивів у вигляді бази даних.

9.1.1. Файлова організація масивів даних

Файл – це іменована частина зовнішньої пам'яті, в яку можна записувати і з якої можна зчитувати дані.

Файлова організація масивів даних передбачає спеціалізацію та збереження інформації, орієнтованої, як правило, на одну прикладну задачу, та забезпечується прикладним програмістом. Така організація дозволяє досягнути високої швидкості обробки інформації, але характеризується низкою недоліків.

Користувачі бачать файл як лінійну послідовність записів і можуть виконати над ними низку стандартних операцій:

- створити файл необхідного типу і розміру;
- відкрити раніше створений файл;
- зчитати з файлу певний запис (поточний, наступний, попередній, перший, останній);

- записати у файл на місце поточного запису новий, додати новий запис у кінець файлу.

В різних файлових системах ці операції можуть різнитись, але загальний зміст їх буде саме таким. Головне – це те, що структура запису файлу відома тільки програмі, яка з ним працює, система керування файлами її не знає. І тому для того, щоб здобути певну інформацію з файлу, необхідно точно знати структуру запису файлу з точністю до біта. Кожна програма, що працює з файлом, повинна містити в собі структуру даних, відповідну структурі цього файлу. Тому при зміні структури файлу потрібно було змінювати структуру програми, а це вимагало нової компіляції, тобто процесу перекладу програми у виконувани машинні коди. Така ситуація характеризується як *залежність програм від даних*.

Характерна риса файлового підходу – вузька спеціалізація як програм обробки, так і файлів даних, що є причиною великої надлишковості (одні й ті ж елементи даних зберігаються в різних системах). Оскільки керування здійснюється різними особами (групами осіб), відсутня можливість виявити порушення суперечливості збереженої інформації. Розроблені файли для спеціалізованих прикладних програм не можна використовувати для задоволення запитів користувачів, які перекривають дві і більше предметні сфери.

Предметна сфера – частина реального світу, дані з якого відображені в базі даних.

Наприклад, як предметну сферу можна обрати бухгалтерію підприємства, відділ кадрів, банк, магазин тощо. Предметна сфера нескінченна і містить як істотно важливі поняття і дані, так і малозначущі або взагалі не значущі дані. Так, якщо як предметну сферу обрати облік товарів на складі, то поняття "накладна" і "рахунок-фактура" є істотно важливими поняттями, а те, що співробітниця, яка приймає накладні, має двох дітей – це для обліку товарів неважливо. Однак з точки зору відділу кадрів дані про наявність дітей є вкрай важливими. Таким чином, важливість даних залежить від вибору предметної сфери.

Крім того, файлова організація даних внаслідок відмінностей структури записів і форматів представлення даних не забезпечує виконання багатьох інформаційних запитів навіть у тих випадках, коли всі необхідні елементи даних містяться в наявних файлах. Тому виникає потреба відокремити дані від їхнього опису, визначити таку організацію збереження даних з урахуванням існуючих зв'язків між ними, яка б дозволила використовувати ці дані одночасно для багатьох додатків (застосувань). Зазначені причини й обумовили появу баз даних.

У комп'ютерах першого покоління використовувалися два види пристроїв зовнішньої пам'яті – *магнітні стрічки* і *барабани*. Ємність магнітних стрічок була достатньо велика, але за своєю фізичною природою вони могли забезпечити тільки *послідовний доступ* до даних. Магнітні ж барабани

(вони найближчі до сучасних магнітних дисків з фіксованими головками) давали можливість довільного доступу до даних, але мали обмежений об'єм інформації. Ці обмеження не були істотними для суто числових розрахунків. Навіть якщо програма й повинна була опрацювати великий об'єм інформації, при програмуванні завжди можна продумати розташування цієї інформації в зовнішній пам'яті так, щоб забезпечити ефективне виконання цієї програми.

Однак в ІС потреба користувачів у пошуку інформації вимагає порівняно швидкої реакції системи на їх запити. Саме вимоги нечисленних застосувань в ІС викликали появу *знімних магнітних дисків* з рухомими головками, що стало революційною подією в історії обчислювальної техніки. Ці пристрої зовнішньої пам'яті мали істотно більшу ємкість на відміну від магнітних барабанів, забезпечували задовільну швидкість доступу до даних у режимі довільної вибірки, а можливість зміни дискового пакету на пристрої дозволяла мати практично необмежений архів даних.

З появою магнітних дисків почалася історія *систем керування даними* в зовнішній пам'яті. До цього кожна прикладна програма, за допомогою якої потрібно було зберігати дані в зовнішній пам'яті, сама визначала розташування кожної порції даних на магнітній стрічці або барабані і виконувала обмін між оперативною пам'яттю та пристроями зовнішньої пам'яті за допомогою програмно-апаратних засобів низького рівня (машинних команд або викликів відповідних програм операційної системи). Такий режим роботи не дозволяв або дуже ускладнював підтримку на одному зовнішньому носії декількох архівів довготривалого збереження. Крім того, кожній прикладній програмі доводилося вирішувати проблеми іменування частин даних і структуризації даних у зовнішній пам'яті.

Тому важливим кроком у розвитку ІС з'явився перехід до *використання централізованих систем управління файлами*. Правила іменування файлів, спосіб доступу до даних, що зберігаються в файлі, структура цих даних залежать від конкретної системи керування файлами і від типу файлу. Система керування файлами бере на себе розподіл зовнішньої пам'яті, відображення імен файлів у відповідні адреси в зовнішній пам'яті і забезпечення доступу до даних.

Для ІС характерною є наявність великої кількості різних користувачів (програм), кожен з яких має свої специфічні алгоритми обробки інформації, що зберігаються в одних і тих же файлах.

9.1.2. Необхідність розробки СКБД

Необхідність розробки СКБД викликана такими причинами:

1. Зміна структури файлу, яка необхідна для однієї програми, вимагає виправлення, перекомпіляції й додаткового налагодження решти програм, що працюють з цим файлом. Це перший істотний недолік файлових систем,

який стимулював створення нових систем збереження й керування інформацією. Оскільки файлові системи є загальним сховищем файлів, що належать різним користувачам, системи керування файлами повинні забезпечувати авторизацію доступу до файлів. У загальному вигляді підхід полягає в тому, що до кожного зареєстрованого користувача даної обчислювальної системи, для кожного існуючого файлу вказуються дії, які дозволені або заборонені даному користувачеві.

2. Відсутність централізованих методів керування доступом до інформації стала другою причиною розробки СКБД.

3. Третьою причиною стала необхідність забезпечення ефективної паралельної роботи багатьох користувачів з одними й тими ж файлами. В загальному випадку системи керування файлами забезпечували режим багатокористувацького доступу. Якщо операційна система підтримує багатокористувацький режим, цілком реальна ситуація, коли два або більше користувачів одночасно намагаються працювати з одним і тим же файлом. Якщо всі користувачі збираються тільки зчитувати файл, нічого страшного не відбувається. Але якщо хоча б один з них буде змінювати файл, то для коректної роботи цих користувачів потрібна взаємна синхронізація їх дій по відношенню до файлу.

В системах керування файлами зазвичай застосовувався такий підхід. В операції відкриття файлу (першій і обов'язковій операції, з якою повинен починатись сеанс роботи з файлом) серед інших параметрів вказувався режим роботи (читання або зміна). Якщо до моменту виконання цієї операції певним користувацьким процесом PR_1 файл був уже відкритий іншим процесом PR_2 в режимі зміни, то залежно від особливостей системи процесу PR_1 або повідомлялося про неможливість відкриття файлу або він блокувався доти, поки в процесі PR_2 не виконувалась операція закриття файлу.

При подібному способі організації одночасна робота декількох користувачів, пов'язаних з модифікацією даних у файлі, або взагалі не буде реалізовуватись, або буде дуже сповільнена.

Ці недоліки стимулювали розробників ІС запропонувати новий підхід – створення баз даних.

9.1.3. Бази і банки даних як засіб збереження даних

У базах даних сукупність взаємопов'язаних даних, що зберігаються разом, організована таким чином, що їх використання є оптимальним для одного або декількох додатків; дані є незалежними від програм, що використовують ці дані; для додавання нових або модифікації існуючих даних, а також для пошуку даних у БД застосовують загальний спосіб керування. При цьому дані структуруються таким чином, що забезпечується можливість подальшого нарощування додатків.

База даних (БД) – структурований, організований набір даних, що описує характеристики певних фізичних чи віртуальних систем.

Структурування – це введення угод про способи подання даних.

Складно організувати пошук необхідних даних, які зберігаються в неструктурованому вигляді, а впорядкувати подібну інформацію взагалі неможливо.

Підхід був реалізований у рамках нових програмних систем, названих згодом Системами Керування Базами Даних (СКБД), а самі сховища інформації, які працювали під керуванням даних систем, називалися базами або банками даних (БД і БНД).

СКБД – комплекс програмних і мовних засобів, призначених для організації, супроводу та надання доступу до БД користувачам.

Примітка. "Базою даних" доволі часто помилково або з метою спрощення називають СКБД. Однак потрібно розрізняти набір даних (тобто БД) та програмне забезпечення, що призначене для організації та супроводження бази даних.

Банк даних – це система спеціальним чином організованих даних (баз даних), програмних, технічних, мовних, організаційно-методичних засобів, призначених для забезпечення централізованого накопичення і колективного багаточільового використання даних.

Фактично у будь-якої сучасної СКБД існує аналог, який випускається іншою компанією і який має аналогічну сферу застосування і можливості, будь-який додаток здатний працювати із багатьма форматами подання даних, здійснювати експорт та імпорт даних завдяки наявності великої кількості конвертерів.

Серед найбільш яскравих представників СКБД можна відзначити: Lotus Approach, Microsoft Access, Borland dBase, Borland Paradox, Microsoft Visual FoxPro, Microsoft Visual Basic, а також бази даних Microsoft SQL Server і Oracle, що використовуються в додатках, побудованих за технологією "клієнт – сервер".

Для порівняння ефективності найвідоміших СКБД зазвичай використовують такі критерії оцінки:

- масштабованість;
- продуктивність;
- доступність даних;
- функціональні можливості сервера;
- відкритість;
- наявні засоби розробки.

Загальноприйнятими також є технології, які дозволяють використовувати можливості інших додатків, наприклад, текстових редакторів, пакетів побудови графіків тощо, і вбудовані версії мов високого рівня (найчастіше – діалекти SQL і / або VBA) та засоби візуального програмування інтерфейсів розроблюваних додатків. Тому вже не має істотного

значення, якою мовою і на основі якого пакету був написаний конкретний додаток та який формат даних у ньому використовується. Більш того, стандартом "де-факто" стала "швидка розробка програм", або RAD (від англ. Rapid Application Development), заснована на широко декларованому в літературі "відкритому підході", тобто можливості використання різних прикладних програм і технологій для розробки більш гнучких та потужних систем обробки даних. Тому в одному ряду з "класичними" СКБД все частіше згадуються мови програмування Visual Basic 6.0 і Visual C++, які дозволяють швидко створювати необхідні компоненти додатків, критичні за швидкістю роботи, які важко, а іноді неможливо розробити засобами "класичних" СКБД. Сучасний підхід до керування базами даних передбачає також широке використання технології "клієнт – сервер".

9.2. Етапи розвитку систем керування базами даних

Історія розвитку СКБД нараховує майже 50 років і починається... з польоту на Місяць. Американська компанія NAA (North American Aviation, зараз "Rockwell International") уклала контракт з урядом США на участь у проекті "Apollo"³⁵.

Оскільки побудова космічного корабля передбачає щонайменше збірку декількох мільйонів деталей, то для цього була створена система керування файлами, яка відслідковувала інформацію про кожну деталь. Проте в ході подальшої перевірки цієї ІС виявилася величезна надмірність файлової системи збереження даних. З'ясувалося, що майже всі дані повторюються в двох і більше файлах. Зіткнувшись із завданням координації замовлень на мільйони деталей, компанія Rockwell у співпраці з IBM у 1968 р. розробила автоматизовану систему замовлень, яка одержала назву IMS (Information Management System – система керування інформацією). Саме вона заклала основу концепції СКБД.

Ключовим нововведенням IMS був *поділ даних і функцій ділової логіки*. Прикладні програмісти отримали можливість працювати з інформацією на логічному рівні, а база даних брала на себе завдання фізичного збереження даних. Подібний розподіл праці привів до різкого стрибка продуктивності роботи компанії.

Ще одним винаходом стала мова програмування DL/I (Data Language/I). Це була спеціалізована мова складання нерегламентованих запитів до бази даних. Її поява зробила непотрібним коштовне програмування на таких мовах, як COBOL і FORTRAN, популярних на той час.

Незважаючи на те, що IMS є першою з комерційних СКБД, вона до сьогодні залишається основною ієрархічною СКБД, що використовується на більшості великих мейнфреймів. У ній реалізована ієрархічна модель

³⁵ Космічна програма США дослідження Місяця.

даних, у якій існує тільки один шлях від кореня ієрархії до кожного запису. Така модель стала основою для систем керування даними, вона ж дала поштовх до подальших моделей даних через свою обмеженість.

У 1971 р. відбулася конференція з мов обробки даних (Conference on Data Systems Languages, CODASYL), метою якої була розробка стандартів баз даних. Попередньо ця конференція вже стандартизувала мову COBOL.

Новий стандарт визначив низку фундаментальних понять в теорії систем баз даних, які і до сьогодні є основоположними для мережевої моделі даних.

У мережевій моделі будь-який запис може брати участь у декількох відносинах предок / нащадок. Це дозволяло обходити цілу низку обмежень ієрархічної моделі. Розробкою мережевої моделі займався Чарльз Бахман (рис. 9.4) – керівник проекту IDS (Integrated Data System – інтегрована система обробки даних) у компанії General Electric.

Тим часом науковий співробітник компанії IBM доктор Едгар Кодд (рис. 9.5) працював над епохальним документом для Асоціації виробників обчислювальної техніки (Association for Computing Machinery, ACM).

У червні 1970 р. цей документ був опублікований в ACM Journal під назвою "Реляційна модель для великих банків спільно використовуваних даних" ("A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks"), який докорінно змінив теорію баз даних і приніс доктору Кодду премію Тюрінга в 1981 р.

Доктор Кодд запропонував реляційну модель, у якій дані можна було вільно описувати в їх природному вигляді без будь-яких обмежень, що накладаються середовищем фізичного збереження.

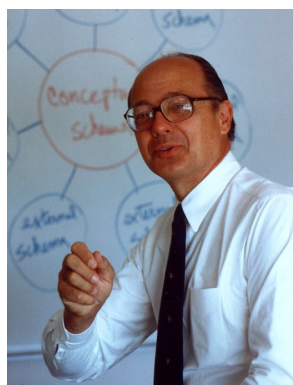


Рис. 9.4. Чарльз Вільям Бахман (англ. Charles William Bachman, 11 грудня 1924 року, Манхеттен (Канзас), США) – американський вчений у галузі комп'ютерних наук, зокрема розробки баз даних. Лауреат премії Тюрінга, на його честь названа нотація Бахмана в ER-моделі даних

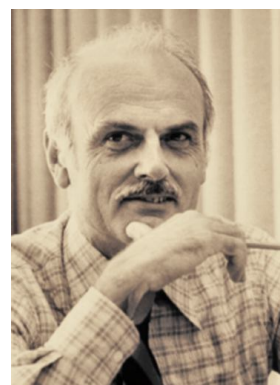


Рис. 9.5. Едгар Франк Кодд (англ. Edgar Codd, 23 серпня 1923 – 18 квітня 2003) – британський дослідник у галузі інформатики, який винайшов реляційну модель даних для керування базами даних, теоретичну основу для реляційних баз даних

Фундаментальним поняттям реляційної БД є *відношення*. Це відображено і в загальній назві підходу – термін *реляційний* (relational) походить від англ. *relation* (відношення).

На фізичному рівні відношення представляють собою таблиці, розбиті на рядки і стовпці (рис. 9.6).

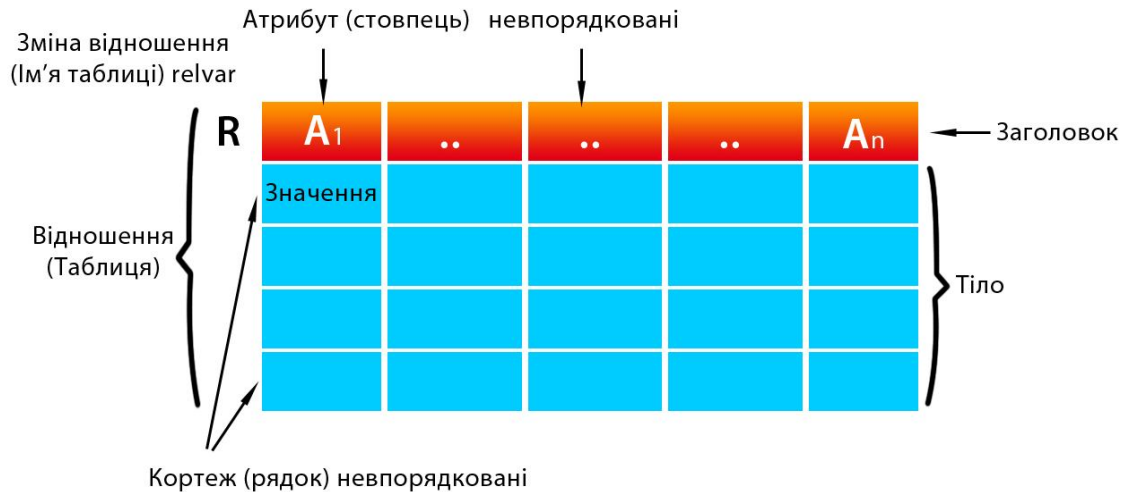


Рис. 9.6. Реляційна модель Е. Кодда

Це дозволило створити мову високого рівня, здатну працювати з даними незалежно від того, як вони зберігаються в комп'ютері.

Як наслідок, з'явилися дві СКБД: *System R* компанії IBM і *Ingres* Каліфорнійського університету в Берклі. В обох СКБД була реалізована *реляційна модель* і *мова запитів*. Остання в СКБД System R спочатку називалась SEQUEL (Structured English Query Language – структурована англійська мова запитів). Пізніше з'явилася назва SQL (Structured Query Language). У 1986 р. організація ANSI опублікувала офіційний стандарт мови SQL.

Стрімкий розвиток обчислювальної техніки, зміна її принципової ролі в житті суспільства, лавиноподібне зростання можливостей персональних комп'ютерів, поява потужних робочих станцій і комп'ютерних мереж, безумовно, вплинуло на розвиток технологій баз даних. При цьому можна виділити чотири етапи в розвитку технологій обробки даних. Однак необхідно відзначити, що на цих етапах відсутні жорсткі часові обмеження: технології плавно переходять з одного етапу в іншій і навіть співіснують паралельно, проте виділення цих етапів дозволяє більш чітко охарактеризувати окремі стадії розвитку технологій баз даних, підкреслити особливості, характерні для конкретного етапу.

Перший етап розвитку СКБД пов'язаний з організацією баз даних на великих машинах типу IBM 360/370, ЄС-ЕОМ і міні-ЕОМ типу PDP-11 (фірми Digital Equipment Corporation – DEC), різних моделях HP (фірми Hewlett Packard).

Бази даних зберігалися в зовнішній пам'яті центральної ЕОМ, користувачами цих баз даних були завдання, що запускались головним чином у пакетному режимі. Інтерактивний режим доступу забезпечувався за допомогою консольних терміналів, які не володіли власними обчислювальними ресурсами (процесором, зовнішньою пам'яттю) і слугували тільки пристроями введення-виведення для центральної ЕОМ. Програми доступу до БД писалися на різних мовах і запускалися як звичайні програми для числових розрахунків. Потужні операційні системи забезпечували можливість умовно-паралельного виконання всієї безлічі завдань. Ці системи можна було віднести до систем розподіленого доступу, тому що база даних була централізованою, зберігалася на пристроях зовнішньої пам'яті однієї центральної ЕОМ, а доступ до неї підтримувався від багатьох користувачів (завдань).

Особливості першого етапу розвитку СКБД:

- усі СКБД базуються на потужних мультипрограмних операційних системах (MVS SVM, RTE, OSRV, RSX, UNIX), тому в основному підтримується робота з централізованою базою даних у режимі розподіленого доступу;
- функції керування розподілом ресурсів здійснюються головним чином операційною системою (ОС);
- підтримуються мови низького рівня маніпулювання даними, які орієнтовані на навігаційні методи доступу до даних;
- значна роль відводиться адмініструванню даних;
- здійснюються серйозні роботи з обґрунтування і формалізації реляційних моделей даних, була створена перша система (System R), яка реалізувала ідеологію реляційної моделі даних;
- проводяться теоретичні роботи з оптимізації запитів і керування розподіленим доступом до централізованої БД, було введено поняття *транзакції*;
- результати наукових досліджень відкрито обговорюються у пресі, йде потужний потік загальнодоступних публікацій, що стосуються всіх аспектів теорії і практики баз даних, і результати теоретичних досліджень активно впроваджуються в комерційні СКБД;
- з'являються перші мови високого рівня для роботи з реляційною моделлю даних;
- відсутні стандарти для цих мов.

Другий етап розвитку СКБД пов'язаний з появою персональних комп'ютерів, які стрімко увірвались в життя світової спільноти і перевернули всі уявлення про місце та роль обчислювальної техніки в житті суспільства. Комп'ютери стали ближчими і доступнішими кожному користувачеві. Зник страх пересічних користувачів перед незрозумілими і складними мовами програмування. З'явилися безліч програм, призначених для роботи

непідготовлених користувачів. Ці програми були прості у використанні та інтуїтивно зрозумілі: редактори текстів, електронні таблиці тощо. Простими і зрозумілими стали операції копіювання файлів та перенесення інформації з одного комп'ютера на інший, друкування текстів, таблиць й інших документів. Системні програмісти були відсунуті на другий план. Кожен користувач міг відчувати себе цілковитим господарем цього потужного і зручного пристрою, який дозволяв автоматизувати більшість аспектів діяльності людини.

Це позначилося і на роботі з базами даних. З'явилися програми, які називались СКБД і дозволяли зберігати значні об'єми інформації, мали зручний інтерфейс для заповнення баз даних, убудовані засоби для генерації різних звітів. Ці програми дозволяли автоматизувати більшість облікових функцій, які раніше велися вручну.

Постійне зниження цін на персональні комп'ютери зробило їх доступними не тільки для організацій і фірм, а й для окремих користувачів. Комп'ютери стали інструментом для ведення документації і власних облікових функцій. Це все відіграло як позитивну, так і негативну роль у розвитку баз даних.

Значна конкуренція серед постачальників програмного забезпечення примушувала вдосконалювати ці системи, пропонувати нові можливості, які покращували інтерфейс і швидкодію систем, знижували їх вартість. Наявність на ринку великої кількості СКБД, що виконували схожі функції, вимагало розробки методів експорту-імпорту даних для цих систем і відкриття форматів збереження даних. Але в цей період з'являються дилетанти-любители, які всупереч здоровому глузду розробляли власні СКБД, використовуючи стандартні мови програмування.

Удавана простота і доступність персональних комп'ютерів та їхнього програмного забезпечення породила безліч дилетантів. Ці розробники, вважаючи себе знавцями, стали проектувати недовговічні бази даних, які не враховували багатьох особливостей об'єктів реального світу. Було створено багато систем-одноенок, які не відповідали законам розвитку і взаємозв'язку реальних об'єктів. Однак доступність персональних комп'ютерів змусила користувачів з багатьох галузей знань, які раніше не застосовували обчислювальну техніку в своїй діяльності, звернутися до них. І попит на розвинені зручні програми обробки даних примушував постачальників програмного забезпечення постачати все нові системи, які прийнято називати настільними (desktop) СКБД. Це був тупиковий варіант, тому що подальший розвиток засвідчив, що перенести дані з нестандартних форматів у нові СКБД або дуже складно, або взагалі неможливо.

Особливості другого етапу розвитку СКБД:

- усі СКБД розраховувались на створення БД з монопольним доступом (комп'ютер персональний, не під'єднаний до мережі), тому база даних на ньому створювалася для роботи одного користувача. В деяких випадках

передбачалася послідовна робота декількох користувачів, наприклад, спочатку працював оператор, який вводив бухгалтерські документи, а потім бухгалтер, який визначав проводки, що відповідали введеним первинним документам;

- більшість СКБД мали розвинений і зручний для користувача інтерфейс, існував інтерактивний режим роботи з БД, як в рамках опису БД, так і в рамках проектування запитів. СКБД пропонували розвинений і зручний інструментарій для розроблення готових додатків без програмування. Інструментальне середовище складалось з готових елементів додатку у вигляді шаблонів екранних форм, звітів, етикеток (labels), графічних конструкторів запитів, які досить просто могли бути зібрані в єдиний комплекс;

- у всіх настільних СКБД підтримувався тільки зовнішній рівень подання реляційної моделі, тобто тільки зовнішній, табличний вигляд структур даних;

- за наявності високорівневих мов маніпулювання даними типу реляційної алгебри і SQL у настільних СКБД підтримувалися низькорівневі мови маніпулювання даними на рівні окремих рядків таблиць;

- у настільних СКБД були відсутні засоби підтримки посилальної і структурної цілісності бази даних. Ці функції повинні були виконувати додатки, проте обмеженість засобів розробки додатків іноді не дозволяла це зробити. В цьому разі ці функції повинні були виконуватися користувачем, вимагаючи від нього додаткового контролю при введенні і зміні інформації, що зберігається в БД;

- наявність монопольного режиму роботи фактично призвела до вродження функцій адміністрування БД і у зв'язку з цим – до відсутності інструментальних засобів адміністрування БД;

- порівняно скромні вимоги до апаратного забезпечення з боку настільних СКБД. Цілком працездатні додатки, розроблені, наприклад, на Clipper, працювали на PC 286. Яскравими представниками цього сімейства є СКБД Dbase (Dbase III+, Dbase IV), FoxPro, Clipper, Paradox, які широко використовувалися до недавнього часу.

Третій етап розвитку СКБД пов'язаний з появою розподілених баз даних. Добре відомо, що історія розвивається по спіралі, тому після процесу "персоналізації" почався зворотний процес – інтеграція. Збільшується кількість локальних мереж, все більше інформації циркулює між комп'ютерами, гостро постає проблема узгодженості даних, що зберігаються і обробляються в різних місцях, але логічно пов'язаних, виникають завдання, пов'язані з паралельною обробкою транзакцій – послідовностей операцій над БД, переводять з одного несуперечливого стану в інший несуперечливий стан. Успішне розв'язання цих завдань приводить до появи розподілених баз даних, що зберігають усі переваги настільних СКБД і в той же

час дозволяють організувати паралельну обробку інформації та підтримку цілісності БД.

Особливості третього етапу розвитку СКБД:

- практично всі СКБД забезпечують підтримку повної реляційної моделі, а саме:

- *структурної цілісності* – допустимими є тільки дані, подані у вигляді відношень реляційної моделі;

- *мовної цілісності*, тобто мов маніпулювання даними високого рівня (в основному SQL);

- *посилальної цілісності*, контролю за дотриманням посилальної цілісності протягом усього часу функціонування системи і гарантії неможливості з боку СКБД порушити ці обмеження;

- більшість сучасних СКБД розраховані на багатоплатформність архітектури, тобто вони можуть працювати на комп'ютерах з різною архітектурою і під різними операційними системами, при цьому для користувачів доступ до даних, що керуються СКБД на різних платформах, практично непомітний;

- необхідність підтримки одночасної роботи багатьох користувачів з базою даних і можливість децентралізованого збереження даних вимагали розвитку засобів адміністрування БД з реалізацією загальної концепції засобів захисту даних;

- потреба в нових реалізаціях зумовила створення серйозних теоретичних праць з оптимізації реалізацій розподілених БД і роботу з розподіленими транзакціями та запитами з впровадженням отриманих результатів у комерційні СКБД;

- для того щоб не втратити клієнтів, які раніше працювали на настільних СКБД, практично всі сучасні СКБД мають засоби підключення клієнтських додатків, розроблених з використанням настільних СКБД, і засоби експорту даних з форматів настільних СКБД другого етапу розвитку;

- саме до цього етапу можна віднести розробку низка стандартів в рамках мов опису і маніпулювання даними, починаючи з SQL89, SQL92, SQL99 і технологій з обміну даними між різними СКБД, до яких можна віднести і протокол ODBC (Open DataBase Connectivity), запропонований фірмою Microsoft;

- саме до цього етапу можна віднести початок робіт, пов'язаних з концепцією об'єктно орієнтованих БД – ООБД. Представниками СКБД, що відносяться до третього етапу, можна вважати MS Access і всі сучасні сервери баз даних Oracle7.3, Oracle 8.4, MS SQL6.5, MS SQL7.0, System 10, System 11, Informix, DB2, SQL Base та інші сучасні сервери баз даних, яких зараз налічується декілька десятків.

Четвертий етап розвитку СКБД характеризується появою нової технології доступу до даних – Інтернет. Основна відмінність цього підходу

від технології "клієнт – сервер" полягає в тому, що зникає потреба використання спеціалізованого клієнтського програмного забезпечення. Для роботи з видаленою базою даних використовується стандартний браузер Інтернету, наприклад Microsoft Internet Explorer або Netscape Navigator, і для кінцевого користувача процес звернення до даних відбувається аналогічно переміщенню по мережі Інтернет. При цьому вбудований в завантаженому користувачем HTML-сторінки код, написаний зазвичай на мові Java, Java-script, Perl та інших, відстежує всі дії користувача і транслює їх у низькорівневі SQL-запити до бази даних, виконуючи таким чином ту роботу, якій в технології "клієнт – сервер" займається клієнтська програма.

Зручність даного підходу привела до того, що він почав використовуватися не тільки для видаленого доступу до баз даних, але і для користувачів локальної мережі підприємства. Прості завдання обробки даних, не пов'язані зі складними алгоритмами, що вимагають узгодженої зміни даних в багатьох взаємозв'язаних об'єктах, досить просто й ефективно можуть бути побудовані за даною архітектурою. В цьому випадку для підключення нового користувача до можливості використовувати дане завдання не потрібне встановлення додаткового клієнтського програмного забезпечення. Проте алгоритмічно складні завдання рекомендується реалізовувати в архітектурі "клієнт – сервер" з розробкою спеціального клієнтського програмного забезпечення.

У кожного з вищеперерахованих підходів до роботи з даними є свої достоїнства і свої недоліки, які й визначають сферу застосування того або іншого методу, і в даний час всі підходи широко використовуються.

9.3. Структурні елементи бази даних

Мета будь-якої інформаційної системи – обробка даних про об'єкти реального світу. Будь-яка прикладна програма є відображенням певної предметної сфери, що складається з реальних об'єктів (наприклад, автомобілі, люди, країни, земельні ділянки) та об'єктів абстрактних (наприклад, інтервал часу). Такі об'єкти називають *сутностями*. Предметна сфера містить його формалізований опис у вигляді даних.

Предметна сфера (ПС) – це частина реального світу, що розглядається в межах певного дослідження або певної діяльності.

Кожен об'єкт ПС характеризується сукупністю властивостей. Ці властивості відображуються за допомогою елементарних одиниць інформації – *атрибутів*. Наприклад, об'єкт *Автомобіль* може мати такі атрибути, як модель, рік виготовлення, потужність двигуна, тип коробки передач, а об'єкт *Землевласник* – прізвище, ім'я, рік народження, площа земельної ділянки, тип ґрунтів тощо.

Кожен атрибут має конкретне значення, наприклад, значення атрибутів об'єкта *Автомобіль* можуть бути такими: модель – Nissan Note, рік виготовлення – 2014, потужність двигуна – 1,6 л, тип коробки передач – автоматична. Очевидно, що атрибути та їх значення пов'язані між собою. Крім того, сутності предметної сфери перебувають у певних відношеннях одна до одної, які називаються *зв'язками*.

Серед розмаїття атрибутів можна виділити *істотні* і *малозначущі*. Визнання певної властивості істотною має відносний характер. Наприклад, атрибут *Кадастровий номер ділянки* для співробітника ДЗК є істотним, а для пересічного громадянина – малозначущим.

Атрибут – це неподільний під час передавання та зберігання елемент інформаційного простору. З атрибутів будуються всі інші, більш складні, інформаційні конструкції. Атрибут відображає певну властивість деяких класів об'єктів.

Значення або екземпляр атрибута – це інформація про дану властивість одного конкретного об'єкта.

Клас об'єктів – це сукупність об'єктів, яка володіє однаковим набором властивостей.

Основні ідеї сучасної інформаційної технології базуються на концепції баз даних (БД).

У загальному випадку ***база даних – це сукупність відомостей про конкретні об'єкти реального світу в певній предметній сфері.***

Бази даних – це, по суті, не що інше, як комп'ютеризована система збереження однотипних записів.

Користувачами бази даних можуть бути різні прикладні програми, програмні комплекси, а також фахівці предметної сфери, які виступають в ролі споживачів чи джерел даних, що називаються *кінцевими користувачами* (рис. 9.7).

Створюючи базу даних, користувач намагається упорядкувати інформацію за різними ознаками і швидко здобути вибірку з довільним сполученням ознак. Зробити це можливо тільки в тому разі, якщо дані структуровані.

Прикладом неструктурованих даних можуть слугувати дані, записані в текстовому файлі. Легко переконатися в тому, що організувати пошук даних, які зберігаються в неструктурованому вигляді, дуже складно, а упорядкувати подібну інформацію взагалі неможливо.

Для забезпечення можливості автоматизації пошуку необхідних даних потрібно їх попередньо систематизувати (структурувати), тобто розробити і виконати певні домовленості про способи подання даних.

Структура даних – сукупність правил й обмежень, які відображають зв'язки, що існують між окремими частинами даних.

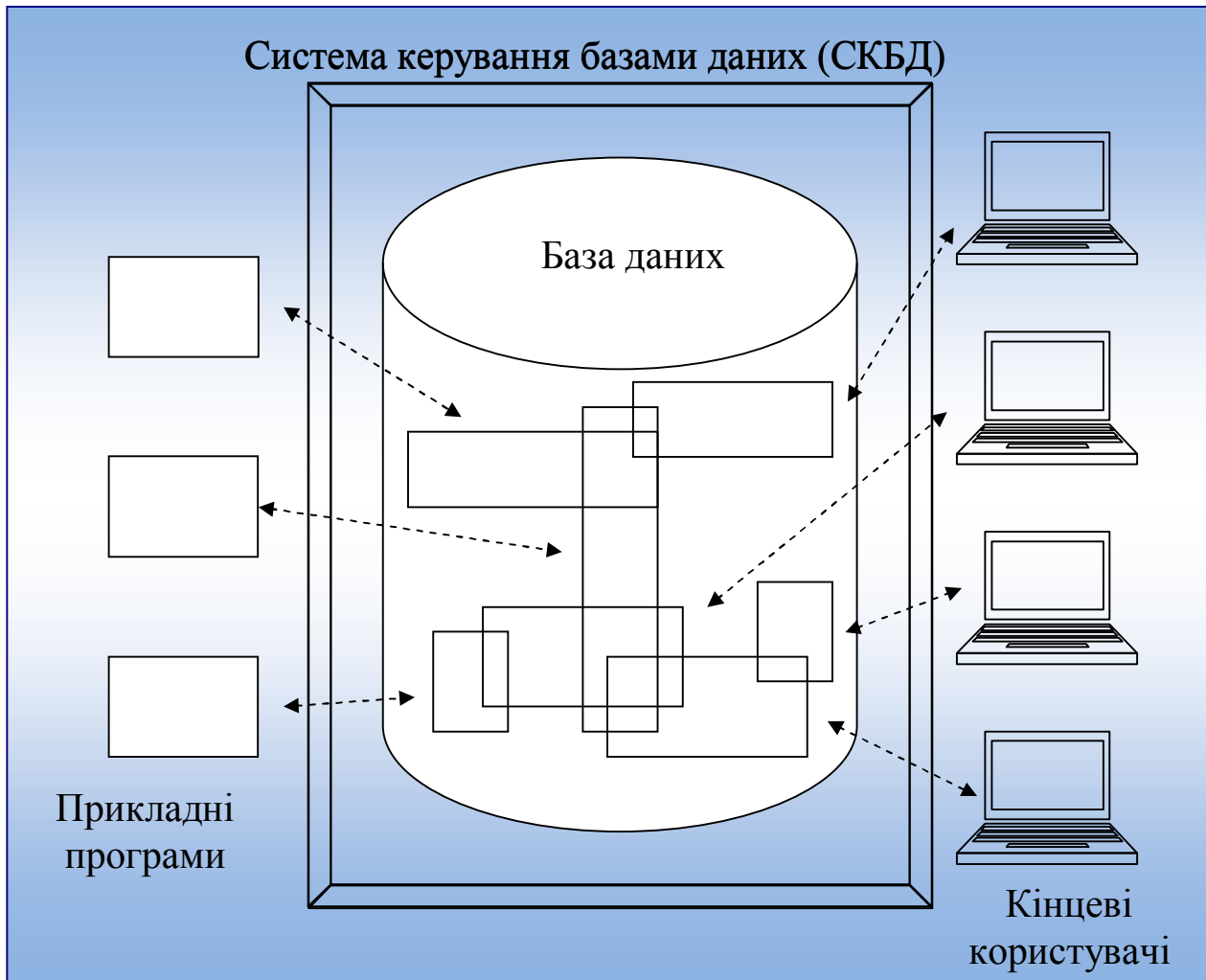


Рис. 9.7. Спрощена схема бази даних

Класифікацію структур даних подано на рис. 9.8.



Рис. 9.8. Класифікація структур даних

Структура даних визначається користувачем і залежить від конкретного завдання. Приклад, як записує дані людина, наведено в табл. 9.1.

Таблиця 9.1

Приклад запису даних людиною

Прізвище	Прищук
Ім'я	Мефодій
По батькові	Аристархович
Рік народження	1995
Телефон	256-14-92

У цьому запису проглядаються елементи комп'ютерного файлу даних. Тут поєднані два типи інформації. Інформація першого типу (ліва частина таблиці) визначає іншу (права частина таблиці). Якщо їх розділити, то запис можна представити наступним чином (табл. 9.2):

Таблиця 9.2

Структура	Інформація
Прізвище	Прищук
Ім'я	Мефодій
По батькові	Аристархович
Рік народження	1995
Телефон	256-14-92

Основна відмінність структури від інформації в СКБД полягає в тому, що структура залишається незмінною, а інформація змінюється при кожному введенні даних.

Таким чином, **БД – це поіменована сукупність структурованих даних, що відносяться до певної предметної сфери.**

СКБД (DataBase Management System – DBMS) – це комплекс програмних і мовних засобів, необхідних для створення баз даних, підтримки їх в актуальному стані і організації пошуку в них необхідної інформації.

До СКБД пред'являється низка вимог, головними з яких є забезпечення можливості:

а) введення даних. В системі повинна існувати структура, яка була б здатна накопичувати дані. Крім того, в СКБД необхідно передбачити можливість перегляду цих даних та внесення змін, для того щоб забезпечити актуальність інформації. Прикладом структури даних може слугувати звичайна анкета, створена за допомогою паперу та чорнил;

б) здійснення запитів. *Запит – це формулювання користувачем своєї інформаційної потреби до певної бази даних.* Система повинна надавати користувачеві можливість пошуку та перегляду окремих частин накопиченої інформації в базі даних відповідно до визначеного критерію;

в) складання звітів. Час від часу виникає потреба узагальнювати інформацію, що зберігається в базі даних. Звіт відрізняється від запиту. По-перше, звіт зазвичай охоплює не яку-небудь частину бази даних, а всю її цілком. По-друге, при отриманні звіту інформація зазвичай опрацьовується.

Звіти в СКБД не просто відображають зміст бази даних, але й певним чином її аналізують.

Щоб вести мову про інформацію, яка зберігається у базі даних, потрібно визначити деякі терміни. Поняття бази даних тісно пов'язане з такими поняттями структурних елементів, як *поле*, *запис*, *файл (таблиця)*.

Поле – елементарна одиниця логічної організації даних, яка відповідає неподільній одиниці інформації – реквізиту.

Поля бази даних не просто визначають структуру бази. Вони ще визначають групові властивості даних, що записуються в комірці, які належать кожному з полів. Нижче наведено основні властивості полів таблиць баз даних на прикладі СКБД Microsoft Access.

Ім'я поля – визначає, як треба звертатись до даних цього поля при автоматичних операціях з базою (за замовчуванням імена полів використовуються як заголовків стовпчик таблиць).

Тип поля – визначає тип даних, що можуть бути у даному полі.

Розмір поля – визначає граничну довжину (в символах) даних, які можуть розміщуватись у даному полі.

Формат поля – визначає спосіб форматування даних у комірках, що належать полю.

Маска введення – визначає форму, в якій вводяться дані в поле (засіб автоматизації введення даних).

Підпис – визначає заголовок стовпчика таблиці для даного поля (якщо підпис не вказаний, то як заголовок стовпчика використовується властивість *Ім'я поля*).

Значення за замовчуванням – це значення, яке вводиться в комірці поля автоматично (засіб автоматизації введення даних).

Умова на значення – обмеження, що використовується для перевірки правильності введення даних (засіб автоматизації введення, який використовується, зазвичай, для даних, що мають числовий, грошовий або тип дати).

Повідомлення про помилку – текстове повідомлення, яке видається автоматично при спробі введення в поле помилкових даних.

Обов'язкове поле – властивість, яка визначає обов'язковість заповнення даного поля при наповненні бази.

Порожні рядки – властивість, яка дозволяє вводити порожні рядкові дані (від властивості *Обов'язкове поле* відрізняється тим, що відноситься не до всіх типів даних, а лише до певних, наприклад до текстових).

Індексоване поле – якщо поле має цю властивість, всі операції, пов'язані з пошуком або сортуванням записів за значенням, що зберігаються в

даному полі, істотно прискорюються. Крім того, для індексованих полів можна зробити так, що значення в записах будуть перевірятись за цим полем на наявність повторів, що дозволяє автоматично виключати дублювання даних.

Оскільки в різних полях можуть міститись дані різного типу, то й властивості у полів можуть розрізнятись залежно від типу даних. Так, наприклад, список вищезазначених властивостей полів відносяться головним чином до полів текстового типу. Поля інших типів можуть мати або не мати ці властивості, але можуть додавати до них і свої. Наприклад, для даних, що подають дійсні числа, важливою властивістю є кількість знаків після десяткової коми. З іншого боку, для полів, що використовуються для збереження малюнків, звукозаписів, відеокліпів, більшість із вищезазначених властивостей не мають сенсу.

Запис – це скінченна сукупність даних, яка містить певний обсяг інформації про цей об’єкт. Цей обсяг інформації визначається, по-перше, предметною галуззю, в якій розглядається об’єкт, а по-друге, тією задачею, у якій цей об’єкт розглядається. У нашому прикладі (табл. 9.3) вся записана інформація становить один запис, тобто запис є сукупністю всіх полів.

Таблиця 9.3

Прищук
Мефодій
Аристархович
1995
256-14-92

Ядром СКБД є файл (папка). Файл – це місце, де фактично зберігається інформація.

Файл – це іменована частина зовнішньої пам’яті, в яку можна записувати і з якої можна зчитувати дані. Правила іменування файлів, способів доступу до даних, що зберігаються в файлі, структура цих даних залежать від конкретної системи керування файлами і від типу файлу.

Система керування файлами бере на себе розподіл зовнішньої пам’яті, відображення імен файлів у відповідні адреси в зовнішній пам’яті і забезпечення доступу до даних.

З точки зору СКБД, **файл – сукупність усіх записів, що зберігаються в базі даних.**

Зв’язки – логічні взаємовідносини між записами або полями.

База даних – сукупність взаємопов’язаних даних (файлів), призначених для спільного використання.

Система керування базами даних (СКБД) – комплекс програм, які забезпечують взаємодію користувача з базою даних.

Основним принципом організації баз даних є спільне збереження даних і їх опису.

Опис даних називають *метаданими*. Метадані зберігаються в частині бази даних, яка називається *каталогом* або словником-довідником даних. Знаючи формат метаданих, можна запитувати і змінювати дані без написання додаткових програм.

Одна й та ж база даних може бути використана для розв'язку багатьох прикладних задач. Наявність метаданих і можливість інформаційної підтримки розв'язку багатьох задач – це принципова відмінність бази даних від будь-якої іншої сукупності даних, що розташовуються в зовнішній пам'яті комп'ютера.

9.4. Функції СКБД

1. Безпосереднє керування даними у зовнішній пам'яті. Ця функція включає забезпечення необхідних структур зовнішньої пам'яті як для збереження даних, що безпосередньо входять до БД, так і для службових цілей, наприклад, для прискорення доступу до даних у деяких випадках (зазвичай для цього використовуються індекси).

2. Керування буферами оперативної пам'яті. СКБД зазвичай працюють з БД значних розмірів; принаймні цей розмір зазвичай істотно більше доступного об'єму оперативної пам'яті. Зрозуміло, що якщо при звертанні до будь-якого елемента даних буде здійснюватись обмін із зовнішньою пам'яттю, то вся система буде працювати зі швидкістю пристрою зовнішньої пам'яті. Практично єдиним способом реального збільшення цієї швидкості є буферизація даних в оперативній пам'яті. Тому в розвинених СКБД підтримується власний набір буферів оперативної пам'яті з власною дисципліною заміни буферів.

3. Керування транзакціями. *Транзакція – це послідовність операцій над БД, що розглядається СКБД як єдине ціле.* Або транзакція успішно виконується, і СКБД фіксує зміни БД, здійснені цією транзакцією, у зовнішній пам'яті, або жодна з цих змін жодним чином не відображується на стані БД. Поняття транзакції необхідне для підтримання логічної доцільності БД. Та властивість, що кожна транзакція починається при цілісному стані БД і залишає цей стан цілісним після свого завершення, робить дуже зручним використання поняття транзакції як одиниці активності користувача по відношенню до БД. При відповідному керуванні транзакціями з боку СКБД, що виконуються паралельно, кожний з користувачів може в принципі відчувати себе єдиним користувачем СКБД. Таким чином, підтримка механізму транзакцій є обов'язковою умовою функціонування СКБД.

4. Журналізація. Однією з основних вимог до СКБД є надійність збереження даних у зовнішній пам'яті. Підтримка надійності збереження даних у БД вимагає надлишковості збереження даних, причому та частина даних, яка використовується для відновлення, повинна зберігатись особливо надійно. Найбільш поширеним методом підтримки такої надлишкової інформації є ведення журналу змін БД.

Під надійністю збереження розуміється те, що СКБД повинна бути в стані відновлювати останній узгоджений стан БД після будь-якого апаратного або програмного збою.

5. Підтримка мов БД. Для роботи з БД використовуються спеціальні мови, які в загальному випадку називаються мовами БД. У ранніх СКБД підтримувалось декілька спеціалізованих за своїми функціями мов, а саме:

- мова опису даних (МОД) (SDL – Schema Definition Language), яка називається також мовою опису схем, – для побудови структури ("шапки") таблиць БД;

- мова маніпулювання даними (ММД) (DML – Data Manipulation Language) – для заповнення БД даними і операцій оновлення (запис, видалення, модифікація);

- мова запитів – мова пошуку наборів величин у файлі відповідно до заданої сукупності критеріїв пошуку і видачі затребуваних даних без зміни змісту файлів і БД (мова перетворення критеріїв на систему команд).

Сьогодні функції всіх трьох мов виконує мова структурованих запитів SQL.

Х. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ БАЗ ДАНИХ, ЇХ АРХІТЕКТУРА І КЛАСИФІКАЦІЯ

Те, як людина збирає, керує і використовує інформацію, їй визначає, чи опиниться вона у виграву чи у програшу.
Б. Гейтс

Теорія баз даних – порівняно молода галузь знань, однак сучасний світ інформаційних технологій важко уявити собі без використання баз даних, а геоінформаційних технологій – взагалі неможливо.

Практично всі ГІС пов'язані з функціями тривалого збереження й обробки інформації, оскільки геоінформація є тим чинником, який багато в чому визначає ефективність будь-якої сфери діяльності.

На сучасному етапі розвитку суспільства збільшились інформаційні потоки і підвищились вимоги до швидкості обробки даних. Більшість операцій з обробки інформації просто неможливо виконувати вручну, вони потребують застосування більш перспективних комп'ютерних технологій, якими і є геоінформаційні. Управлінські рішення в будь-якій предметній сфері вимагають чіткої і точної оцінки поточної ситуації та можливих перспектив її зміни. І якщо раніше при оцінці ситуації враховувалось декілька десятків факторів, що впливали на поточну ситуацію і які можна було обчислити вручну, то тепер кількість таких факторів становить сотні і навіть сотні тисяч, а ситуація змінюється не протягом року, а через декілька хвилин. При цьому обґрунтованість управлінських рішень, що повинні прийматись, повинна бути надзвичайно високою, оскільки ціна похибки, допущеної в процесі прийняття рішень, може бути надзвичайно високою. Отже, обійтись без ГІС, що ґрунтуються на базах просторових і атрибутивних даних та банках знань, просто неможливо.

Бази даних і бази знань є ядром автоматизованого банку даних.

10.1. Принципи побудови баз даних

База даних (БД) – іменована сукупність даних, що відображає стан об'єктів та їх відносини у певній предметній сфері.

Банк даних (БнД) – це система спеціальним чином організованих даних (баз даних), програмних, технічних, мовних, організаційно-методичних засобів, призначених для забезпечення централізованого накопичення і колективного багатоцільового використання даних.

Найбільш істотними науковими принципами, які лежать в основі побудови БД, є *принцип інтеграції даних* і *принцип централізації керування ними* (рис. 10.1).

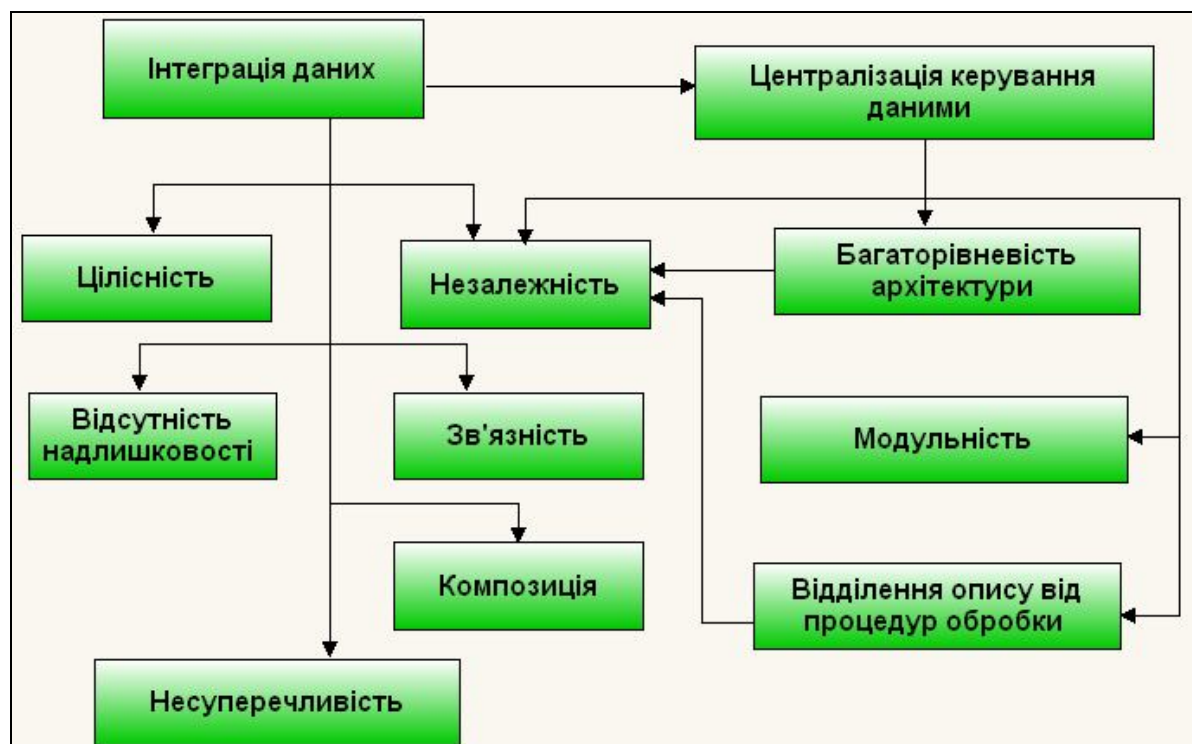


Рис. 10.1. Принципи побудови баз даних

Принцип інтеграції даних полягає в об'єднанні окремих, взаємно не зв'язаних даних у єдине цілісне утворення, в ролі якого виступає БД. У результаті всі дані подаються єдиним інформаційним масивом. При цьому полегшуються пошук взаємозалежних даних і їхня спільна обробка, зменшується надлишковість даних, спрощується процес ведення БД.

Інтеграцію даних необхідно розглядати на двох рівнях – *логічному* і *фізичному*. На логічному рівні множина структур даних відображається в єдину структуру даних, на фізичному рівні автономні файли об'єднуються в БД.

Принцип цілісності даних відображає вимогу адекватності інформації, що зберігається в БД, стану предметної сфери. В будь-який момент часу дані повинні точно відповідати властивостям і характеристикам об'єктів. Порушення цілісності виникає внаслідок спотворення або навіть руйнації (стирання) всіх або частини даних, а також як результат запису в БД неправильної (спотвореної) інформації. Підтримка цілісності досягається:

- за рахунок контролю вхідної інформації;
- періодичної перевірки даних, що зберігаються;
- застосуванням спеціальної системи відновлення даних;
- іншими заходами.

Під незалежністю даних розуміють незалежність прикладних програм від даних, що зберігаються, при якому будь-які зміни в організації даних не вимагають корекції цих програм.

Шляхи забезпечення незалежності даних:

- *уведення додаткових рівнів абстрагування даних* (принцип багаторівневості). Замість двох традиційних рівнів, передбачених базовим програмним забезпеченням і стандартними мовами програмування, – *логічного і фізичного* – в архітектурі БД використовується принцип трирівневої організації даних: логічний рівень поділяється на два – *зовнішній* (рівень користувача) і *концептуальний* (загальний системний рівень даних);

- *передача СКБД частини функцій, пов'язаних з організацією доступу до БД, що раніше покладалися на прикладні програми.* При цьому прикладна програма лише формує і передає ядру інформацію, необхідну для пошуку даних;

- *застосуванням і дотриманням принципу відділення опису БД від процедур обробки даних;*

- *реляційний підхід до побудови БД.*

Найбільший ефект досягається симбіозом усіх зазначених шляхів.

Відсутність надлишковості – це стан даних, коли кожний елемент присутній у БД тільки в одиничному екземплярі. Надлишковість може мати місце як на логічному рівні, коли в структурі даних повторюються одні й ті ж самі типи даних, так і на фізичному рівні, коли дані зберігаються в двох або більше екземплярах. Принцип інтеграції дозволяє звести надлишковість до мінімуму.

Під несуперечливістю розуміється змістова відповідність між даними. Це такий стан БД, при якому дані, що зберігаються в ній, не суперечать один одному. Розрізняють два аспекти несуперечливості: *змістова відповідність різнотипних даних* та *ідентичність (рівність) дублюючих даних.*

Принцип зв'язності даних полягає в тому, що дані в БД взаємозалежні, і зв'язки відбивають відношення між об'єктами предметної сфери. Множина типів даних і множина зв'язків утворюють логічну структуру даних. Наявність зв'язків між записами в БД дозволяє зменшувати надлишковість, спростити і прискорити пошук даних.

Принцип централізації керування полягає в передачі усіх функцій керування даними єдиному комплексу керуючих програм – СКБД. Як було зазначено вище, всі операції, пов'язані з доступом до БД, виконуються не прикладними програмами, а централізовано – ядром СКБД – на підставі інформації, яку отримують з цих програм. Дотримання цього принципу дозволяє автоматизувати роботу з БД і тим самим істотно підвищити ефект, який отримують від застосування інформаційної системи.

Відділення опису даних від процедур їхньої обробки припускає, що опис даних виключається з прикладних програм, складається і транслюється окремо від них і зберігається в БД (або поза нею у вигляді окремого файлу). Виведення цих описів за межі прикладної програми робить її більш незалежною від БД, полегшує процес програмування, зменшує розміри необхідної для програми пам'яті, підвищує гнучкість маніпулювання даними.

На основі зазначених вище принципів формується архітектура БД. Ведучи мову про *архітектуру БД*, мають на увазі архітектуру інформаційного забезпечення баз даних.

Архітектура БД – концепція взаємозв'язку логічних, фізичних і програмних компонентів системи.

10.2. Трирівнева архітектура баз даних

У процесі досліджень, присвячених тому, як саме повинна бути влаштована СКБД, пропонувались різні способи реалізації. Найбільш життєздатною виявилась реалізація, запропонована ANSI³⁶.

Перша спроба створення стандартної термінології та загальної архітектури СКБД була зроблена в 1971 р. групою DBTG (DataBase Task Group), яка прийшла до висновку про необхідність використання дворівневого підходу: *схема* (рівень адміністратора) і *підсхеми* (рівень користувачьких представлень).

У 1975 р. ANSI/X3/SPARC³⁷ визнав необхідним використання трирівневого підходу для задоволення потреб колективного використання структур даних при їх індивідуальному представленні. Хоча модель, що запропонована групою ANSI/SPARC, не стала стандартом, проте архітектура вважається класичною і є актуальною й донині.

Мета створення трирівневої архітектури СКБД є відділення користувачького представлення бази даних від її фізичного представлення:

- кожен користувач повинен мати можливість звертатися до даних, використовуючи власне уявлення про них (незалежно від уявлень інших користувачів);
- взаємодія користувачів БД не повинна залежати від особливостей збереження даних у ній (наприклад, індексування, хешування³⁸);

³⁶Американський національний інститут стандартів (англ. *American National Standards Institute*, ANSI) – об'єднання американських промислових і ділових груп, що розробляє торгові і комунікаційні стандарти, член ISO.

³⁷X3 – комітет обчислювальної техніки й обробки інформації ANSI, SPARC – Standards Planning and Requirements Committee (Комітет планування стандартів і норм).

³⁸Хешування (іноді гешування, англ. *hashing*) – перетворення вхідного масиву даних довільної довжини на вихідний бітовий рядок фіксованої довжини. Такі перетворення також

- адміністратор БД повинен мати можливість змінювати структуру збереження даних у базі, не впливаючи на користувацькі уявлення;
- внутрішня структура БД не повинна залежати від змін фізичних аспектів збереження інформації (наприклад, використання нового пристрою збереження).

Архітектура ANSI-SPARC передбачає три різні рівні представлення даних: *зовнішній*, *концептуальний* та *внутрішній* (рис. 10.2).

Трирівневе представлення БД передбачає відповідний опис даних на кожному рівні й узгодження одних і тих самих даних на різних рівнях.

Рівень зовнішніх моделей (external level) – **представлення БД з точки зору користувачів**. Зовнішній рівень представлення даних не стосується фізичної організації (розміщення) даних у зовнішній пам'яті, тому його називають іноді *логічним рівнем*. Відповідно внутрішній рівень називають *фізичним рівнем*.

Оскільки БД є загальним ресурсом, то кожному користувачу може знадобитися своє, відмінне від інших уявлення про характеристики інформації, що зберігається в БД (користувач має справу з представленням предметної сфери, виражену в найбільш зручній для нього формі). Зовнішнє подання містить тільки ті сутності, атрибути та зв'язки предметної сфери БД, які цікаві користувачу (додатку).

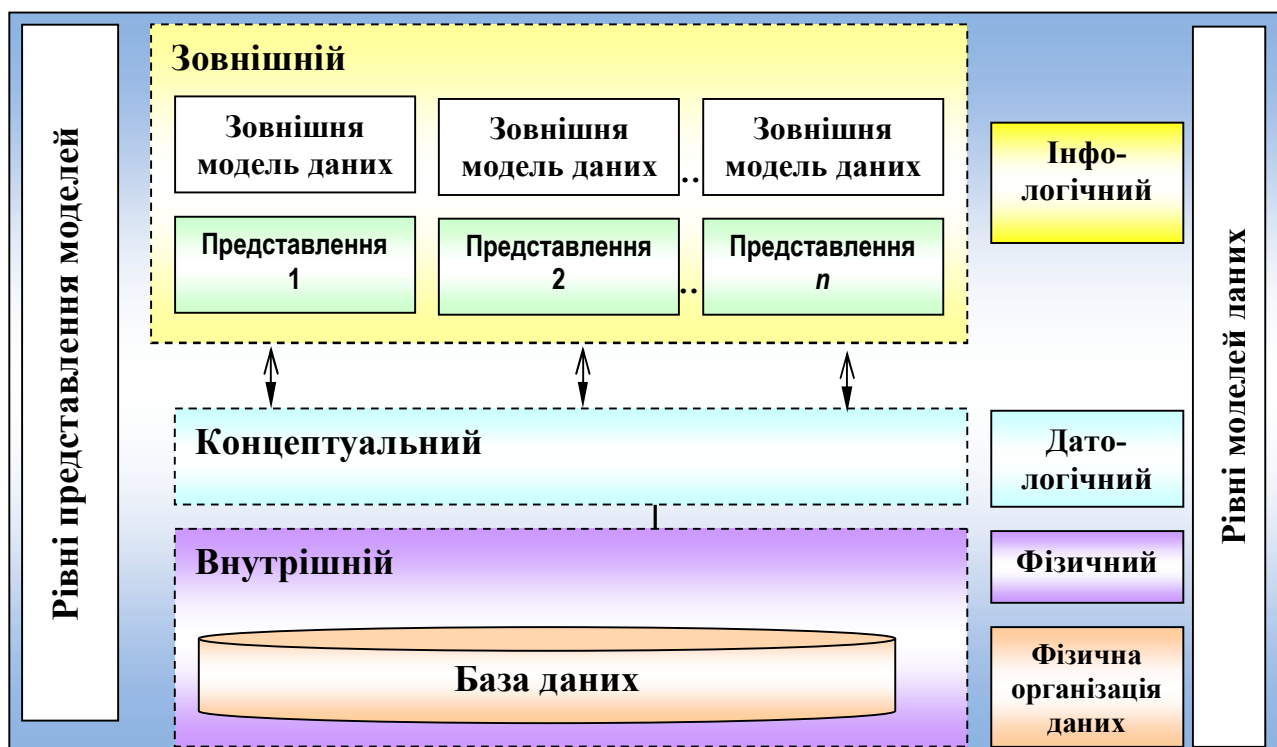


Рис. 10.2. Трирівнева модель системи керування базою даних, що запропонована ANSI

називаються хеш-функціями або функціями згортки, а їх результати називають хешем, хеш-кодом або дайджестом повідомлення (англ. message digest).

Інші сутності, атрибути та зв'язки, які йому не потрібні, теж можуть бути представлені в БД, але користувач може навіть не підозрювати про їх існування. Тому на зовнішньому рівні може бути декілька різних зовнішніх представлень БД (кожний користувач має своє уявлення "реального світу" і не бачить зайве (з його точки зору)). Крім того, різні подання можуть різним чином відображати одні й ті ж дані. Наприклад, один користувач може переглядати дати в форматі (день, місяць, рік), а інший – у форматі (рік, місяць, день). Деякі подання можуть включати похідні або обчислювані дані, що не зберігаються в БД як такі, а створюються в міру потреби (вік співробітників, термін експлуатації споруди тощо), що не вимагає зайвих оновлень БД і дозволяє зменшити об'єм БД. Уявлення можуть також включати комбіновані або похідні дані з декількох об'єктів.

Зовнішній рівень являє собою, як правило, словесний опис даних та їх взаємозв'язків і відбиває інформаційні потреби користувачів та прикладних програм (рис. 10.3).

Вимоги користувачів до зовнішнього подання охоплюють сукупність даних, які потрібні для виконання запитів користувачів.

Вимоги з боку прикладних програм до зовнішнього рівня подання даних – це перелік даних з описом їх взаємозв'язків, які необхідні для реалізації певних функціональних завдань.



Рис. 10.3. Зовнішній рівень представлення моделей

Опис зовнішнього рівня не виключає наявності дублювання, надлишковості, неузгодженості тощо.

Метою проектування на зовнішньому рівні є розробка позамашинного інформаційного забезпечення, яке вміщує систему вхідної (первинної) документації і характеризує певну предметну сферу (ПС), систему класифікації та кодування інформації, а також перелік відповідних вихідних повідомлень.

Під предметною сферою розуміють один або кілька об'єктів реального світу, інформація про які моделюється за допомогою БД і використовується для розв'язку різних функціональних завдань.

Існує два підходи до проектування баз даних на зовнішньому рівні:

- від предметної сфери;
- від запиту.

Підхід "від предметної сфери" полягає в тому, що формується зовнішнє інформаційне забезпечення всієї предметної сфери без урахування потреб користувачів і прикладних програм. Іноді цей підхід називають ще *об'єктним*, або *непроцесним*.

При підході "від запитів" основним джерелом інформації про предметну сферу є вивчення запитів користувачів і потреб прикладних програм. Цей підхід також називається *процесним*, або *функціональним*. При такому підході БД проектується для виконання поточних завдань керування без урахування можливості розширення системи і виникнення нових завдань управління.

Перевагами підходу "від предметної області" є його об'єктивність, системність при відображенні ПС і стійкість інформаційної моделі, можливість реалізації великої кількості прикладних програм і запитів, у тому числі незапланованих при створенні БД. Недолік цього підходу – значний обсяг робіт, що його потрібно виконати при визначенні інформації, яка підлягає фіксації в БД, що відповідно ускладнює і збільшує термін розробки проекту.

2. Концептуальний рівень (conceptual level) – це узагальнене, проміжне представлення БД. Він містить логічну структуру всієї БД, а саме: всі сутності, їх атрибути і зв'язки; обмеження, семантичну інформацію про дані; інформацію про заходи безпеки і підтримки цілісності даних, що використовуються усіма додатками, які працюють з даною БД. Усі зовнішні представлення утворюються з даних цього рівня, але цей рівень не містить відомостей про методи збереження даних (тобто може мати інформацію про довжину полів, їх тип, назву, але не містить інформації про об'єми в байтах тощо).

Фактично концептуальний рівень відбиває узагальнену модель предметної сфери, для якої створювалася БД (рис. 10.4).



Рис. 10.4. Логічний рівень представлення моделей

Як і будь-яка модель, *концептуальна модель відображає тільки істотні з точки зору обробки особливості об'єктів реального світу.*

Концептуальний рівень підтримує кожне зовнішнє представлення.

Даний рівень об'єднує дані, які використовуються усіма прикладними програмами, що працюють з БД. Однак концептуальний рівень не містить жодних відомостей про методи збереження даних.

Виділення концептуального рівня дозволило розробити апарат централізованого керування БД.

3. Внутрішній рівень (internal level) *описує фізичну реалізацію бази даних. Його ще називають фізичним рівнем.* Це власне дані, що зберігаються в файлах або в сторінкових структурах, що розташовані на зовнішніх носіях інформації. На внутрішньому рівні міститься така інформація: розподіл дискового простору для збереження даних та індексів; відомості про розміщення записів; відомості про стиснення даних та методи їх шифрування.

Виділяють декілька проблем фізичного подання даних, які необхідно вирішити, щоб забезпечити максимальну ефективність роботи бази даних.

По-перше, необхідно вирішити, як здійснювати пошук потрібного запису. Для цього потрібно встановити відповідність між логічним записом і адресою фізичного запису.

По-друге, необхідно вирішити, як організувати дані, щоб їх пошук був ефективним.

По-третє, як додавати нові записи до даних, видаляти старі записи і при цьому не порушувати систему адресації і пошуку.

Відмінності між рівнями представлення даних показані на рис. 10.5.

Відмінності між трьома рівнями представлення даних

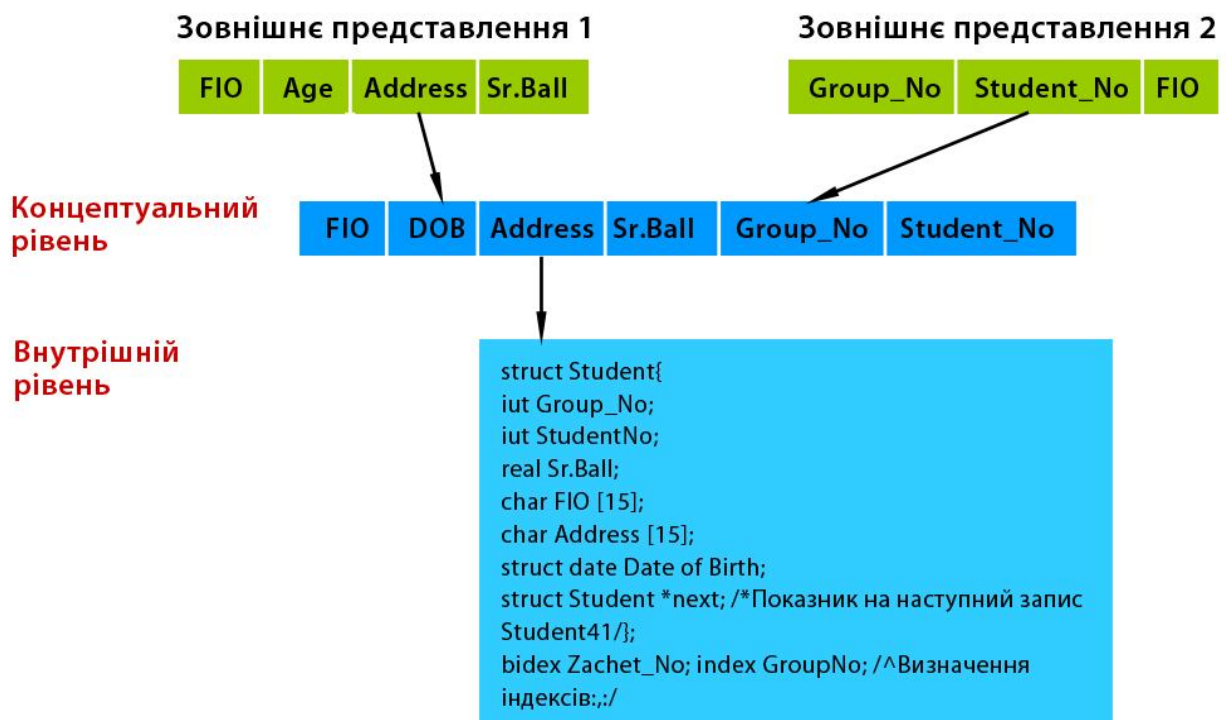


Рис. 10.5. Відмінності між рівнями представлення даних

10.3. Забезпечення незалежності СКБД від даних

Незалежність від даних – основоположний принцип побудови СКБД. Відповідно до цього принципу в системі повинні підтримуватися роздільні представлення даних для користувача ("логічна незалежність") і для системних механізмів середовища зберігання БД ("фізична незалежність"). Такий поділ позбавляє користувача від необхідності знання прийнятого способу зберігання БД і дозволяє динамічно оптимізувати спосіб зберігання БД у процесі експлуатації системи для забезпечення більш високої продуктивності системи і (або) більш раціонального використання ресурсів пам'яті.

Логічна незалежність від даних означає цілковиту захищеність зовнішніх схем від змін, що вносяться в концептуальну схему, тобто припускає можливість зміни однієї прикладної програми без коригування інших додатків, що працюють з цією ж БД, додавання і видалення нових сутностей, атрибутів і зв'язків.

Фізична незалежність від даних означає захищеність концептуальної схеми від змін, що вносяться у внутрішню схему, тобто припускає можливість перенесення інформації, що зберігається з одних носіїв на інші, при збереженні працездатності всіх додатків, що працюють з даною базою даних, модифікацію індексів тощо. Користувачі можуть помітити зміни, що відбулись у внутрішній схемі, тільки за зміною продуктивності. Це саме те, чого не вистачало при використанні файлових систем.

10.4. Відображення рівнів моделей

Архітектура СКБД, крім безпосереднього представлення трьох рівнів моделей, включає певні відображення:

- відображення концептуального рівня на внутрішній;
- декілька відображень зовнішніх рівнів на концептуальний.

Відображення "*концептуальний – внутрішній*" встановлює відповідність між концептуальним представленням і БД, що зберігається, тобто описує, як концептуальні записи і поля представлені на внутрішньому рівні.

Відображення "*зовнішній – концептуальний*" визначає відповідність між певним зовнішнім представленням і концептуальним представленням.

Відображення "*концептуальний – внутрішній*" слугує основою фізичної незалежності від даних, а відображення "*зовнішній – концептуальний*" є ключем до логічної незалежності від даних.

Опис БД – схема БД, яка створюється в процесі її проектування, причому передбачається, що вона змінюється доволі рідко.

Стан БД – сукупність інформації, що зберігається в БД у певний момент часу.

Схема БД іноді називається змістом БД, а її стан – деталізацією.

10.5. Організація процесу проходження користувацького запиту

На рис. 10.6 представлено взаємодію користувача, СКБД і операційної системи (ОС) при обробці запиту на отримання даних. Цифрами помічено послідовність взаємодій.

1. Користувач посилає СКБД запит на отримання даних з БД.
2. Аналіз прав користувача і зовнішньої моделі даних, що відповідає даному користувачу, підтверджує або забороняє доступ даного користувача до запитуваних даних.

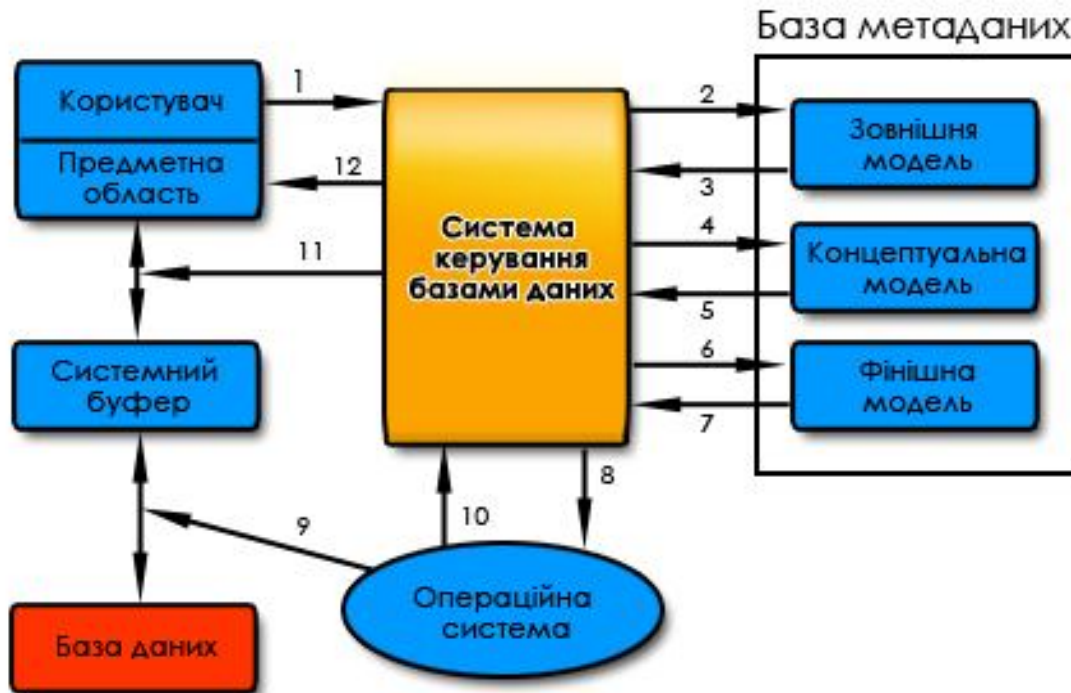


Рис. 10.6. Схема проходження запиту до БД

3. У разі заборони на доступ до даних СКБД повідомляє користувачу про це (стрілка 12) і завершує подальший процес обробки даних, в іншому випадку СКБД визначає частину концептуальної моделі, яка виділяється запитом користувача.

4. СКБД отримує інформацію про запитувану частину концептуальної моделі.

5. СКБД запитує інформацію про місце розташування даних на фізичному рівні (файли або фізичні адреси).

6. В СКБД повертається інформація про місце розташування даних у термінах операційної системи.

7. СКБД ввічливо просить ОС надати необхідні дані, використовуючи засоби ОС.

8. ОС здійснює перекачування інформації з пристроїв збереження і пересилає її в системний буфер.

9. ОС сповіщає СКБД про закінчення пересилки.

10. СКБД обирає з доставленої інформації, що знаходиться в системному буфері, тільки те, що потрібно користувачеві, і пересилає ці дані в робочу сферу користувача.

База метаданих (БМД) – місце збереження всієї інформації про використання структури даних, логічну організацію даних, права доступу користувачів і фізичне розташування даних.

Для керування БМД існує спеціальне програмне забезпечення адміністрування баз даних, яке призначено для коректного використання єдиного інформаційного простору багатьма користувачами.

А чи завжди запит проходить повний цикл? Звичайно ж, ні. СКБД має доволі розвинений інтелект, який дозволяє їй не повторювати безглузких дій. І тому, наприклад, якщо цей же користувач повторно звернеться до СКБД з новим запитом, то для нього вже не будуть перевірятися зовнішня модель і права доступу, а якщо подальший аналіз запиту покаже, що дані можуть знаходитися в системному буфері, то СКБД здійснить тільки 11 і 12 кроки в обробці запиту.

Зрозуміло, що механізм проходження запиту в реальних СКБД набагато складніший, але й ця спрощена схема показує, наскільки серйозними і складними повинні бути механізми обробки запитів, що підтримуються реальними СКБД.

10.6. Користувачі СКБД

Як і будь-який програмно-організаційно-технічний комплекс, СКБД існує в часі й в просторі. Вона має певні стадії свого розвитку:

- 1) проектування;
- 2) реалізація;
- 3) експлуатація;
- 4) модернізація і розвиток;
- 5) повна реорганізація.

На кожному етапі свого існування із СКБД пов'язані різні категорії користувачів (рис. 10.7).

Групу внутрішніх користувачів складають: *адміністратор даних, адміністратор БД (АБД), адміністратори додатків (функціональних підсистем), системні і прикладні програмісти.*

Примітка. Функції адміністратора БД на стадії розробки і на стадії експлуатації різні і тому виконуються різними особами.

Адміністратори даних – це група користувачів, яка на початковій стадії розробки БД відповідає за його оптимальну організацію з точки зору одночасної роботи кінцевих користувачів.

Адміністратор даних:

- визначає потреби зовнішніх користувачів при проектуванні БД;
- ставить завдання адміністратору БД.

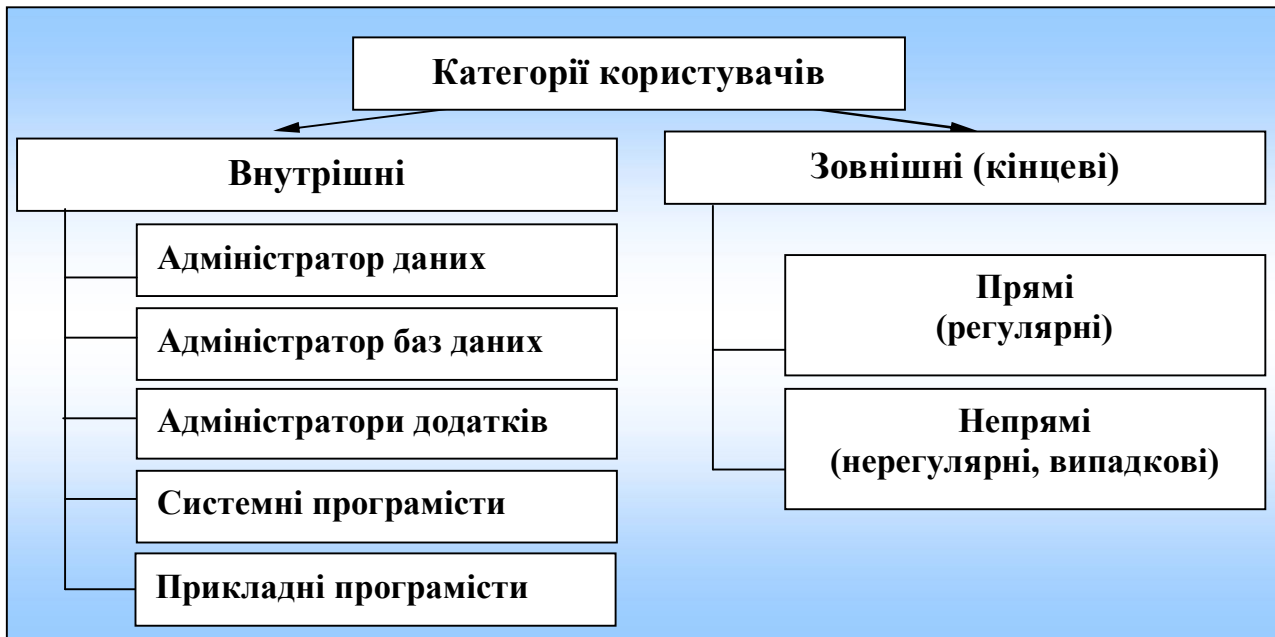


Рис. 10.7. Користувачі систем керування базами даних

В ІС, що створюються на основі СКБД, способи організації даних і методи доступу до них перестали відігравати істотну роль, оскільки стали схованими всередині СКБД. Масовий (кінцевий користувач), зазвичай, має справу тільки із зовнішнім інтерфейсом, що підтримується СКБД. Ці переваги не можуть бути реалізовані шляхом механічного об'єднання даних у БД. У системі обов'язково повинна існувати спеціальна посадова особа (група осіб) – *адміністратор бази даних (АБД)*, який несе відповідальність за проектування і загальне керування БД.

АБД визначає інформаційний зміст БД. З цією метою він ідентифікує об'єкти БД і моделює базу, використовуючи мову опису даних. Отримувана модель слугує в подальшому довідковим документом для адміністраторів додатків і користувачів. АБД вирішує також усі питання, пов'язані з розміщенням БД в пам'яті, вибором стратегії і обмежень доступу до даних. До функцій АБД входять також організація завантаження, ведення і відновлення БД та багато інших дій, які не можуть бути повністю формалізовані й автоматизовані.

АБД відповідає за коректність роботи даної БД у багатокористувачькому режимі. На стадії розвитку та реорганізації він відповідає за можливість коректної реорганізації БД без зміни або припинення її поточної експлуатації.

На групу АБД покладаються найбільш складні обов'язки. В складі групи адміністратора БД повинні бути:

- системні аналітики;
- проектувальники структур даних і зовнішнього по відношенню до БД інформаційного забезпечення;
- проектувальники технологічних процесів обробки даних;
- системні програмісти;
- прикладні програмісти;
- фахівці з технічного обслуговування;
- оператори.

Системні програмісти – забезпечують функціонування СКБД у середовищі операційної системи, розробляють компоненти, які розширюють програмне забезпечення СКБД.

Прикладні програмісти – розробляють прикладні програми СКБД, які забезпечують функціонування СКБД.

Адміністратор БД:

- на стадії проектування і розробки є, зазвичай, керівником проекту створення БД. Він керує роботами з розробки БД і програмного забезпечення БД;
- на стадії експлуатації відповідає за функціонування системи (захист даних від руйнування і від несанкціонованого доступу, забезпечення достовірності даних, аналіз ефективності використання ресурсів).

Основні функції групи адміністратора БД

1. Аналіз предметної сфери: опис предметної сфери, виявлення обмежень цілісності, визначення статусу (доступності, секретності) інформації, визначення потреб користувачів, визначення відповідності "дані – користувач", визначення об'ємно-часових характеристик обробки даних.

2. Проектування структури БД: визначення складу і структури файлів БД і зв'язків між ними, вибір методів упорядкування даних і методів доступу до інформації, опис БД на мові опису даних.

3. Завдання обмежень цілісності при опису структури БД і процедур обробки БД:

- завдання декларативних обмежень цілісності, притаманних предметній сфері;
- визначення динамічних обмежень цілісності, притаманних предметній сфері в процесі зміни інформації, що зберігається в БД;
- визначення обмежень цілісності, що викликана структурою БД;
- розробка процедур забезпечення цілісності БД при введенні і корегуванні даних;
- визначення обмежень цілісності при паралельній роботі користувачів у багатокористувацькому режимі.

4. Первісне завантаження і ведення БД:

– розробка технології первісного завантаження БД, яка буде різнитись від процедури модифікації і доповнення даними при штатному використанні БД;

– розробка технології перевірки відповідності введених даних реальному стану предметної сфери. БД моделює реальні об'єкти певної предметної сфери та взаємозв'язки між ними, і на момент початку штатної експлуатації ця модель повинна повністю відповідати стану об'єктів предметної сфери на даний момент часу;

– відповідно до розробленої технології первісного завантаження може знадобитись проектування системи первинного введення даних.

5. Захист даних:

- визначення системи паролів, принципів реєстрації користувачів, створення груп користувачів, що мають однакові права доступу до даних;

- розробка принципів захисту конкретних даних і об'єктів проектування; розробка спеціалізованих методів кодування інформації при її циркуляції в локальній і глобальній інформаційних мережах;

- розробка засобів фіксації доступу до даних і спроб порушення системи захисту;

- тестування системи захисту;

- дослідження випадків порушення системи захисту і розвиток динамічних методів захисту інформації в БД.

6. Забезпечення відновлення БД:

– розробка організаційних засобів архівування і принципів відновлення БД;

– розробка додаткових програмних засобів і технологічних процесів відновлення БД після збоїв.

7. Аналіз звернень користувачів БД – збір статистики за характером запитів, часом їх виконання, вихідними документами, що вимагаються.

8. Аналіз ефективності функціонування БД:

- аналіз показників функціонування БД;

- планування реструктуризації (змін структури) БД і реорганізації банків даних (БнД).

9. Робота з кінцевими користувачами:

– збір інформації про зміну предметної сфери;

– збір інформації про оцінку роботи БД;

– навчання користувачів, їх консультування;

– розробка необхідної методичної і навчальної документації для роботи кінцевих користувачів.

10. Підготовка і підтримка системних засобів:

- аналіз існуючих на ринку програмних засобів і аналіз можливості та необхідності їх використання в рамках БД;

- розробка необхідних організаційних і програмно-технічних заходів з розвитку БД;
- перевірка працездатності закупуваних програмних засобів перед підключенням їх до БД;
- опікуватись підключенням нових програмних засобів до БД.

11. Організаційно-методична робота з проектування БД:

- вибір або створення методики проектування БД;
- визначення цілей і напрямку розвитку системи в цілому;
- планування етапів розвитку БД;
- розробка загальних словників-довідників проекту БД і концептуальної моделі;
- стикування зовнішніх моделей розроблюваних додатків;
- опікуватись підключенням нового додатку до діючої БД;
- забезпечення можливості комплексного налагоджування множини додатків, що взаємодіють з однією БД.

Адміністратори додатків (АБД) – це група користувачів, яка функціонує під час проектування, створення та реорганізації БД. Проте не для кожної БД можна виділити наведені типи користувачів. Наприклад, при розробці ГІС з використанням настільних СКБД адміністратор БД, адміністратор додатків і розробник найчастіше існують в одній особі. Однак при побудові сучасних складних корпоративних баз геоданих, які використовуються для автоматизації всіх або більшої частини процесів управління територіями, можуть існувати і групи адміністраторів додатків, і відділи розробників.

Адміністратори додатків координують роботу розробників при розробці конкретної програми або комплексу програм, об'єднаних у функціональну підсистему. Розробники конкретних програм працюють з тією частиною інформації з БД, яка потрібна для конкретного додатка.

Адміністратор додатків визначає для додатків підмоделі даних. Тим самим різні додатки забезпечуються власним "поглядом", але не на всю БД, а тільки на потрібну для конкретного додатка ("видиму") її частину. Вся інша частина БД для даного додатка буде "прозорою". Прикладні програмісти мають, зазвичай, у своєму розпорядженні один або декілька мов програмування, за допомогою яких генеруються прикладні програми.

Кінцеві користувачі – це основна категорія користувачів, в інтересах яких і створюється база даних.

Залежно від особливостей створюваного БД коло його кінцевих користувачів може істотно різнитись. Це можуть бути *непрямі (випадкові) користувачі*, які звертаються до БД час від часу за отриманням певної інформації, а можуть бути й *прямі (регулярні) користувачі*.

Прямі кінцеві користувачі працюють з СКБД в інтерактивному режимі. Фактично вони забезпечують актуальність бази даних, тобто вносять оперативну інформацію, дають команди на обробку і видачу даних.

Непрямі кінцеві користувачі не вступають у безпосередній контакт з програмно-технічними компонентами СКБД. Вони формулюють свої запити службі адміністратора БД і прямим кінцевим користувачам.

Випадковими користувачами можуть виступати, наприклад, можливі клієнти ГС (школярі, студенти, пересічні громадяни тощо), що ознайомлюються з її можливостями послуг з узагальненим або докладним описом того чи іншого.

Регулярними користувачами можуть бути фахівці органів влади, управління навколишнього середовища, що працюють зі спеціально розробленими для них програмами, які забезпечують автоматизацію їх діяльності при виконанні своїх посадових обов'язків. Наприклад, фахівець, який планує роботу з охорони земель, має в своєму розпорядженні програму, яка допомагає йому планувати і розподіляти поточні перевірки земельного законодавства, контролювати хід їх виконання, замовляти необхідну інформацію з різних підрозділів. Головний принцип полягає в тому, що від кінцевих користувачів не повинно вимагатися спеціальних знань у сфері ГС, обчислювальної техніки і мовних засобів.

10.7. Класифікація СКБД і моделей баз даних

Модель даних – сукупність структур даних, обмежень цілісності та операцій їх обробки.

Модель даних є ядром будь-якої бази даних. За допомогою моделі даних можуть бути подані об'єкти предметної сфери та взаємозв'язки між ними.

Моделі даних можна класифікувати за різними ознаками:

• ***за структурою організації даних:***

- ієрархічні;
- мережеві;
- реляційні;
- багатовимірні;
- об'єктно орієнтовані;

• ***за місцем збереження даних:***

– ***внутрішня модель*** (фізична база даних) являє собою найнижчий рівень БД. Вона складається з різних екземплярів типів даних, які зберігаються на пристроях зовнішньої пам'яті;

– ***зовнішня модель***. Зазвичай, користувача цікавить лише певна частина БД. Окрім того, користувач не знає, яким чином фізично зберігаються ці

дані. Зовнішня модель – це інформаційний зміст бази даних у вигляді, як її уявляє собі користувач. Для звертання до бази даних можуть використовуватися як мови програмування, так і спеціалізовані мови, наприклад мова структурованих запитів SQL;

- **за характером інформації, що зберігається в БД:**

- фактографічні;
- документальні.

Якщо провести аналогію з прикладами інформаційних сховищ на паперових носіях, то фактографічні БД – це картотеки, а документальні – це архіви. У фактографічних БД зберігається лаконічна інформація в строго визначених форматах. В документальних БД – будь-які документи, причому не обов’язково текстові, але й графіка, відео, звук (мультимедіа).

- **за технологією обробки даних** (рис. 10.8):



Рис. 10.8. Класифікація баз даних за технологією обробки

Централізована база даних зберігається в пам’яті однієї обчислювальної системи. Якщо ця система є мейнфреймом³⁹, то доступ здійснюється за допомогою терміналів або файловим сервером локальної мережі.

Розподілена база даних складається з декількох, можливо, таких, що перетинаються або навіть дублюючих одна одну, частин, які зберігаються в різних ЕОМ обчислювальної мережі. Робота з такою базою здійснюється за допомогою системи керування розподіленою базою даних (СКРБД);

- **за способом доступу до даних** (рис. 10.9):



Рис. 10.9. Класифікація баз даних за способом доступу до даних

³⁹**Мейнфрэйм** (від англ. *mainframe*) – великий універсальний високопродуктивний відмовостійкий сервер зі значними ресурсами введення-виведення, великим об’ємом оперативної і зовнішньої пам’яті, призначеної для використання в критично важливих обчислювальних системах.

Системи централізованих баз даних з віддаленим (мережевим) доступом припускають різні архітектури подібних систем, а саме – "файл – сервер" і "клієнт – сервер".

"Файл – сервер". Архітектура БД з мережевим доступом припускає виділення одного з комп'ютерів мережі як центрального (мережевого). Концепція архітектури БД "файл – сервер" зображена на рис. 10.10.

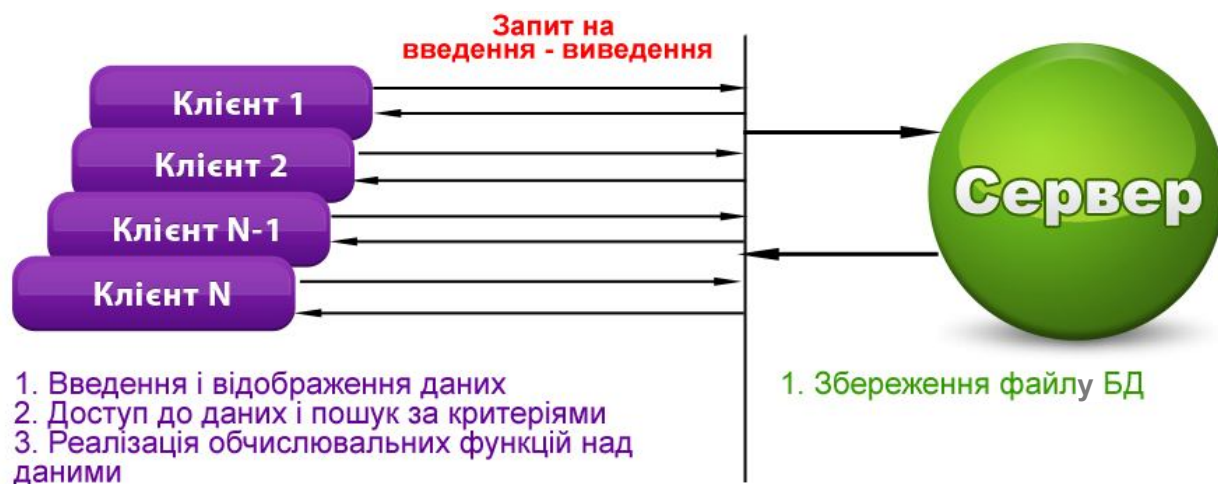


Рис. 10.10. Концепція архітектури БД "файл – сервер"

На такій машині зберігається спільно використовувана централізована БД. Усі інші комп'ютери мережі виконують функції *робочих станцій*, за допомогою яких підтримується доступ користувачької системи до централізованої БД. Файли БД відповідно до користувачьких запитів передаються на робочі станції, де в основному і відбувається обробка. При великій інтенсивності доступу до одних і тих же даних продуктивність ІС знижується. Користувачі можуть також створювати на робочих станціях локальні БД, які використовуються ними монополярно.

Схема обробки інформації в БД за принципом "файл – сервер" представлена на рис. 10.11.

До переваг такої архітектури передусім слід віднести відсутність високих вимог до продуктивності сервера (головна вимога – забезпечення необхідного об'єму дискового простору та відсутність необхідності розміщення й інсталяції СКБД на сервері).

Серед недоліків такої архітектури потрібно відзначити високий мережевий трафік⁴⁰ та відсутність спеціальних механізмів захисту файлів БД з боку СКБД.

На даний час файл-серверні СКБД (Microsoft Access, Borland Paradox) вважаються застарілими.

⁴⁰Мережевий трафік, або інтернет-трафік (англ. *traffic* – "рух", "вантажобіг") – об'єм інформації, що передається через комп'ютерну мережу за певний період часу. Кількість трафіка вимірюється як в пакетах, так і в бітах, байтах та їх похідних: кілобайт (Кб), мегабайт (Мб) тощо.



Рис. 10.11. Схема обробки інформації в БД за архітектурою "файл – сервер"

"Клієнт – сервер" За цією концепцією передбачається, що, крім збереження централізованої бази даних, центральний комп'ютер (сервер бази даних) повинен забезпечувати виконання основного об'єму обробки даних.

Запит на дані, які видаються клієнтом (робочою станцією), породжує пошук і добування даних на сервері. Добуті дані (однак не файли) транспортуються по мережі від сервера до клієнта. Специфікою архітектури "клієнт – сервер" є використання мови структурованих запитів SQL. Концепція "клієнт – сервер" умовно зображена на рис. 10.12.

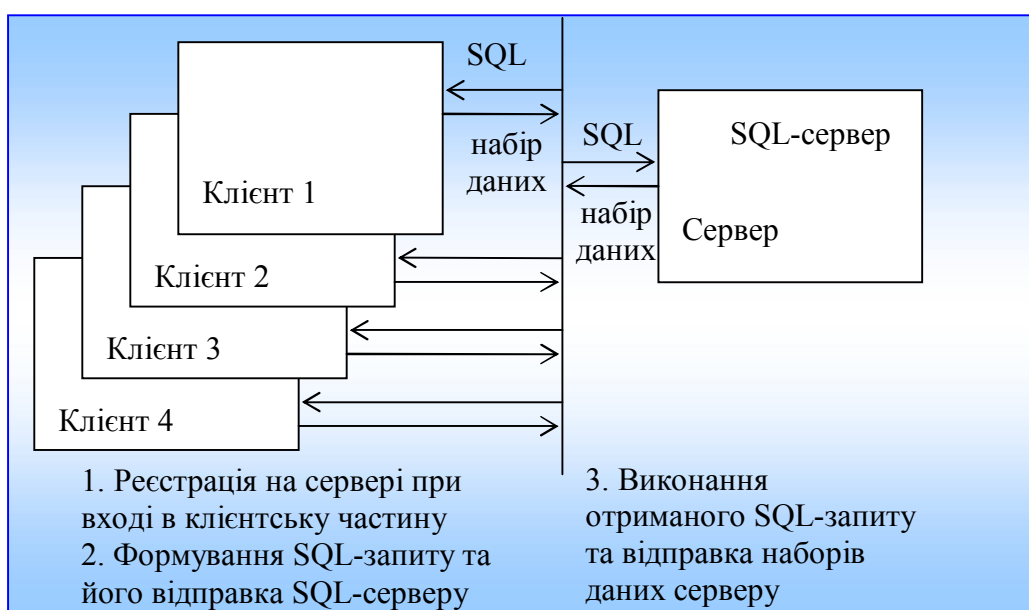


Рис. 10.12. Схема обробки інформації в БД за принципом "клієнт – сервер"

Схема обробки інформації в БД за принципом "клієнт – сервер" представлена на рис. 10.13.



Рис. 10.13. Схема обробки інформації в БД за архітектурою "клієнт – сервер"

До переваг такої архітектури передусім треба віднести більш м'який трафік мережі та забезпечення за допомогою SQL-сервера функцій цілісності і забезпечення даних.

Крім того, робить можливим у більшості випадків розподіл функцій обчислювальної системи між декількома незалежними комп'ютерами в мережі.

Всі дані зберігаються на сервері, який, зазвичай, захищений набагато краще за більшість клієнтів і дозволяє використовувати ресурси одного сервера клієнтам з різними апаратними платформами, операційними системами тощо.

До недоліків треба віднести високу вартість устаткування. Непрацездатність сервера може зробити непрацездатною всю обчислювальну мережу. Підтримка роботи даної системи вимагає окремого фахівця – системного адміністратора.

Прикладами таких СКБД можуть слугувати Firebird, Interbase, IBM DB2, MS SQL Server, Sybase, Oracle, PostgreSQL, MySQL, ЛИНТЕР.

Клієнт-серверна архітектура розділяється на декілька типів:

- дворівнева архітектура "клієнт – сервер";
- триврівнева архітектура "клієнт – сервер";
- багаторівнева архітектура або n-рівнева архітектура.

Дворівнева архітектура "клієнт – сервер". У випадку з дворівневою архітектурою "клієнт – сервер" база даних розміщується на мережевому сервері, проте програма клієнта позбавлена можливості прямого доступу до БД. Доступ до БД регулюється спеціальною програмою – сервером БД (рис. 10.14).

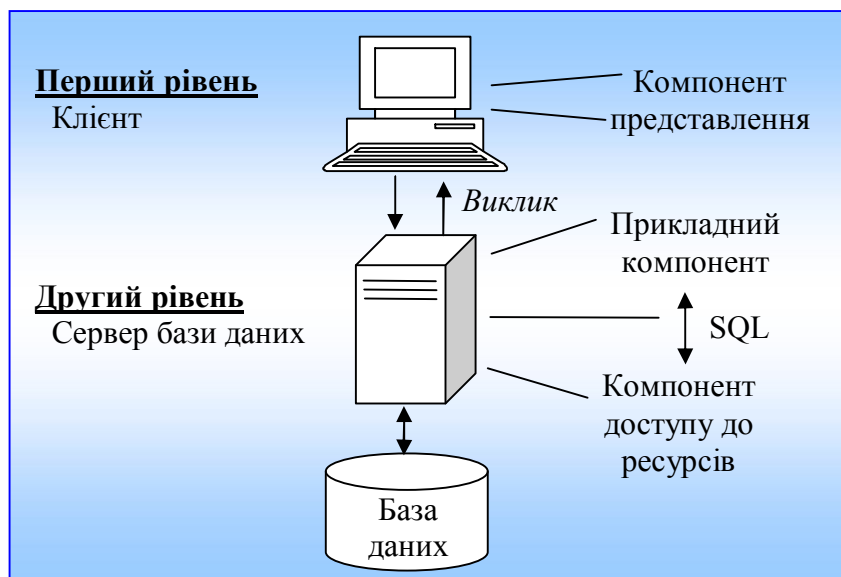


Рис. 10.14. Дворівнева архітектура "клієнт – сервер"

Взаємодію сервера БД і клієнта реалізується за допомогою SQL-запитів, які формує і посилає серверу клієнт. Сервер, прийнявши запит, виконує його і повертає результат клієнту.

В клієнтському застосуванні в основному здійснюються інтерпретація отриманих від сервера даних, реалізація призначеного для користувача інтерфейсу, а також реалізація частини бізнес-правил.

Проте дворівнева архітектура має низку недоліків:

- погіршення продуктивності прямо пропорційна кількості користувачів;
- незалежно від того, який тип клієнта використовується, велика частина обробки даних повинна знаходитися в БД, це означає, що вона повністю залежить від можливостей, передбачених у БД виробником;
- дворівнева архітектура настільки залежить від конкретної реалізації бази даних, що перенесення існуючих застосувань для різних СКБД стає серйозною проблемою.

Трирівнева архітектура "клієнт – сервер". У цій моделі процес, що виконується клієнтом, відповідає за інтерфейс з користувачем, звертаючись за виконанням послуг до прикладного компонента. Прикладний компонент реалізований як група процесів, що виконують прикладні функції, і називається *сервером додатка*. Всі операції над інформаційними ресурсами баз даних виконуються компонентами доступу до ресурсів. Таким чином, на

відміну від попередньої архітектури, обмін між клієнтом і сервером здійснюється за допомогою спеціально розробленого набору команд (API), а не SQL-запитів. Набір цих команд визначається розробником, що дозволяє йому обмежити набір допустимих дій з даними, доступних клієнтові. Трирівнева архітектура "клієнт – сервер" представлена на рис. 10.15.

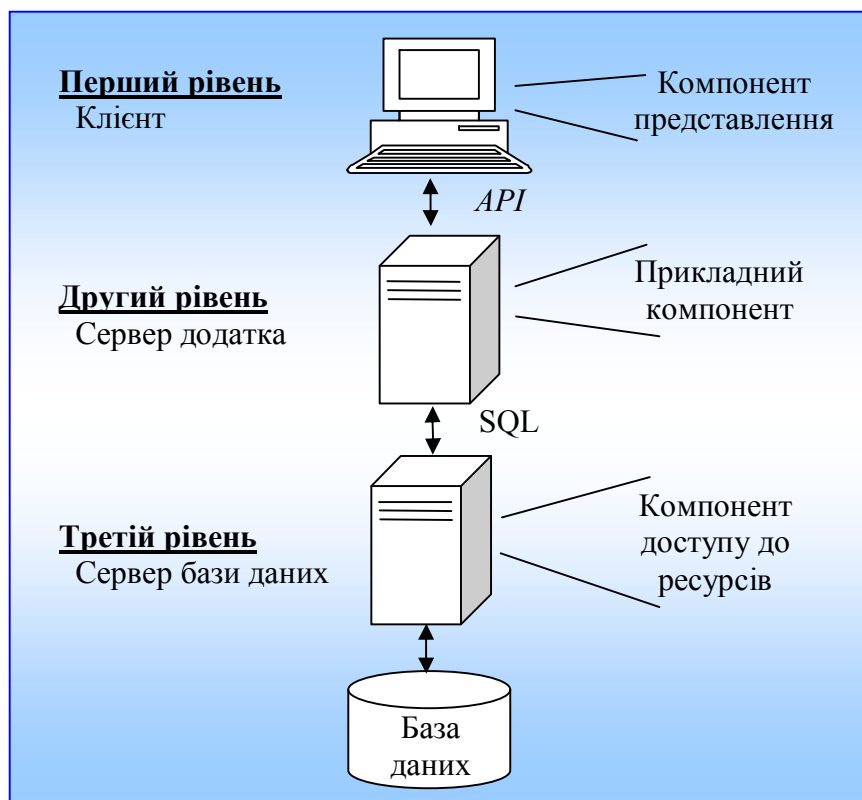


Рис. 10.15. Трирівнева архітектура "клієнт – сервер"

Уведення додаткового рівня дозволяє здолати деякі обмеження дворівневої архітектури, описаних у загальних рисах вище. Як і з дворівневою моделлю, рівні можуть розташовуватися або на різних комп'ютерах, або на одному комп'ютері в тестовому режимі.

Багаторівнева архітектура "клієнт – сервер" – різновид архітектури "клієнт – сервер", у якій функція обробки даних винесена на один або декілька окремих серверів. Це дозволяє розділити функції зберігання, обробки і представлення даних для ефективного використання можливостей серверів і клієнтів.

Трирівнева архітектура є окремим випадком багаторівневої, але якщо розглядати їх окремо, то можна виділити декілька переваг багаторівневої архітектури перед трирівневою, такі як:

- *масштабованість*. Навантаження поділяється на декілька web-серверів, які взаємодіють з БД або з сервером наступного рівня.
- *захищеність*. Використання декількох фізичних рівнів підвищує захищеність інформаційної системи від мережевих атак, а також функцію

захисту можуть виконувати всі рівні сервера, розподіляючи тим самим навантаження;

- *стабільність*. При втраті працездатності одного з проміжних рівнів його функцію можуть поділити між собою рівні ідентичної функціональності, що залишились. Хоча продуктивність у такій ситуації й зменшиться, проте система залишиться працездатною, на відміну від трирівневої системи.

Багаторівнева архітектура зазвичай складається з чотирьох рівнів (рис. 10.16), де сервер мережі відповідає за обробку з'єднання між клієнтом, браузером і сервером системи.

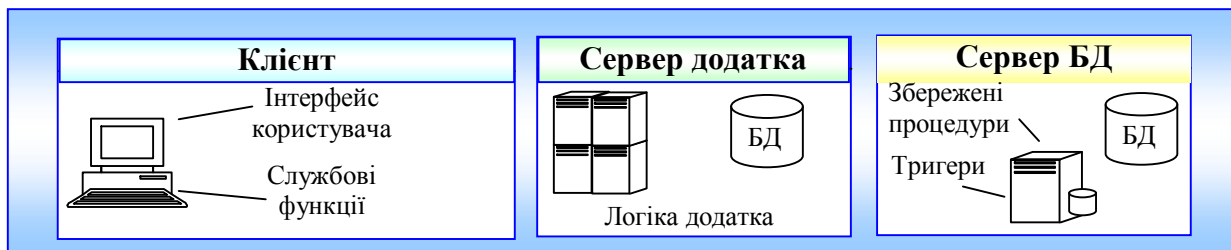


Рис. 10.16. Багаторівнева архітектура "клієнт – сервер"

- **за характером використання:**

- персональні СКБД;
- багатокористувацькі СКБД.

До персональних СКБД відносяться VISUAL FOXPRO, ACCESS та ін. До багатокористувацьких СКБД відносяться, наприклад, СКБД ORACLE та INFORMIX.

Багатокористувацькі СКБД включають в себе сервер БД і клієнтську частину, працюють в неоднорідному обчислювальному середовищі, припускають різні типи ЕОМ і різні операційні системи. Тому на базі СКБД можна створити інформаційну систему, що функціонує за технологією "клієнт – сервер".

Універсальність багатокористувацьких СКБД проявляється відповідно у високій ціні і комп'ютерних ресурсах, необхідних для підтримки СКБД, що становлять собою сукупність мовних і програмних засобів, призначених для створення, ведення і використання БД.

Персональні СКБД забезпечують можливість створення персональних БД і дешевих додатків, що працюють з ними, і, за потреби, створення додатків, що працюють із сервером БД;

- **за типом використовуваних даних:**

- слабо типізовані;
- сильно типізовані.

У сильно типізованих моделях усі дані мають належати до певної категорії або типу. Якщо дані не підпадають під жодну з категорій, їх

потрібно типізувати штучно. Деякі моделі будуються у такий спосіб, що категорії визначаються наперед і не можуть змінюватись динамічно. У цьому разі модельований світ начебто вміщується в гальмівну сорочку. Наприклад категорія "службовець" – строго фіксована, й усі об'єкти повинні мати однакові властивості та структуру.

Сильно типізовані моделі мають значні переваги, бо дають змогу побудувати абстракції властивостей даних і дослідити їх у термінах категорій.

Більшість моделей, що використовуються в автоматизованих системах, зокрема в БД, належать до сильно типізованих.

Для слабо типізованих належність даних до тієї або іншої категорії не має жодного значення. Категорії використовуються настільки, наскільки це доцільно в кожному конкретному випадку. Окремі дані можуть існувати як незалежно, так і у зв'язку з іншими. Інформація про категорії, якщо вони використовуються, розглядається як додаткова.

На відміну від сильно типізованих моделей, слабо типізовані забезпечують інтеграцію даних і категорій. Найкращі можливості такої інтеграції надаються численням предикатів, яке у багатьох моделях використовується для зображення знань, що підтримуються базовими засобами моделювання.

XI. МОДЕЛІ БАЗ ДАНИХ

11.1. Класифікація моделей баз даних за рівнями подання

Модель даних – це інтегрований набір понять для опису даних, зв'язків між ними і обмежень, що накладаються на дані.

Реалізація (implementation) заданої моделі даних – це фізичне втілення на реальній машині компонентів абстрактної машини, яке в сукупності складають цю модель.

Загальний опис БД прийнято називати *схемою бази даних*. Для кожного рівня архітектури ANSI-SPARC існують свої схеми (рис. 11.1).

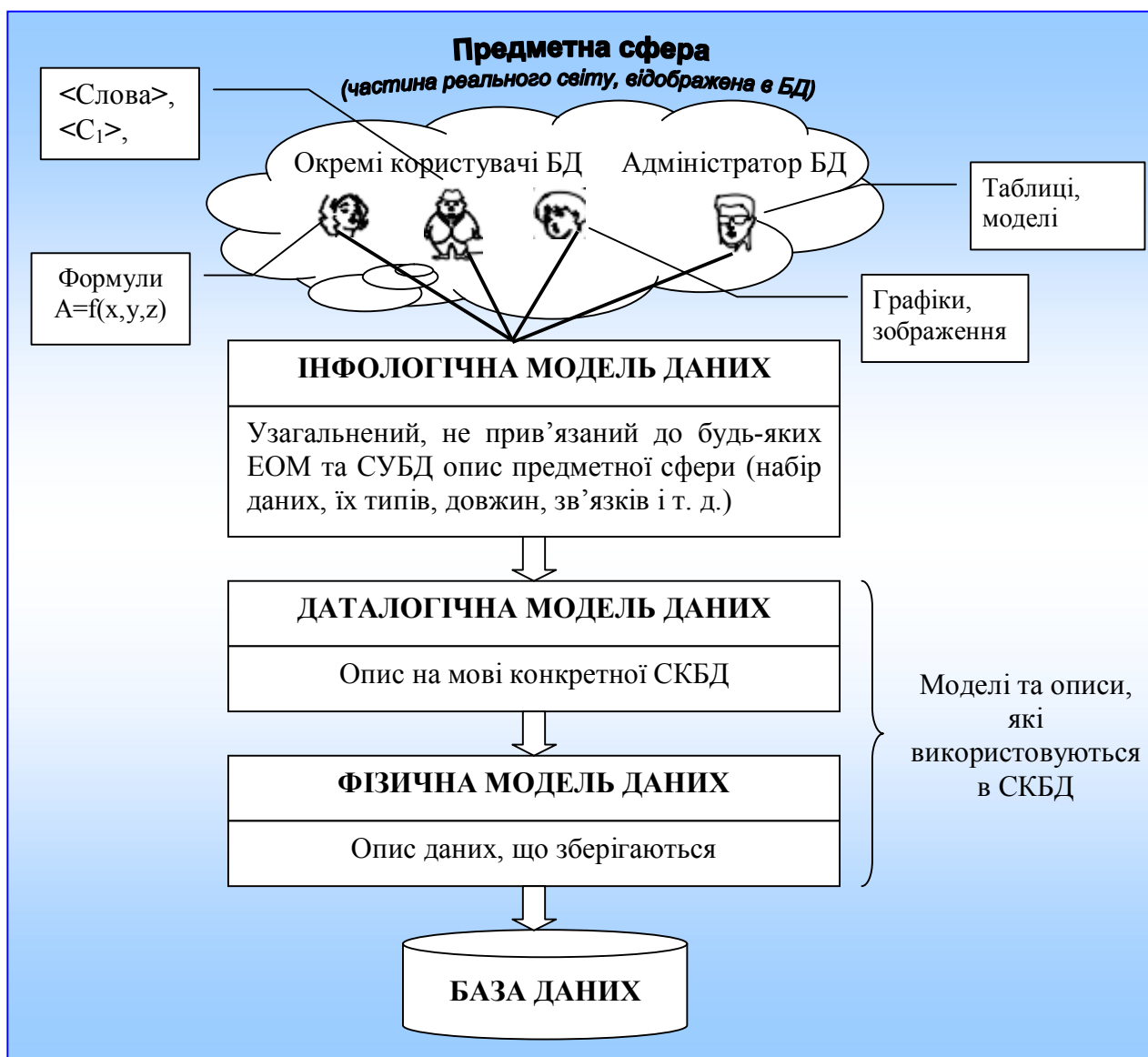


Рис. 11.1. Рівні схем баз даних

Модель даних розглядається як сполучення трьох компонентів:

- *структурна частина* – набір правил, за якими може бути побудована база даних;
- *керуюча частина*, яка визначає типи припустимих операцій з даними;
- *набір обмежень підтримки цілісності даних* (необов'язковий компонент), який гарантує коректність використовуваних даних.

Схема класифікації моделей даних за рівнями подання наведена на рис. 11.2.

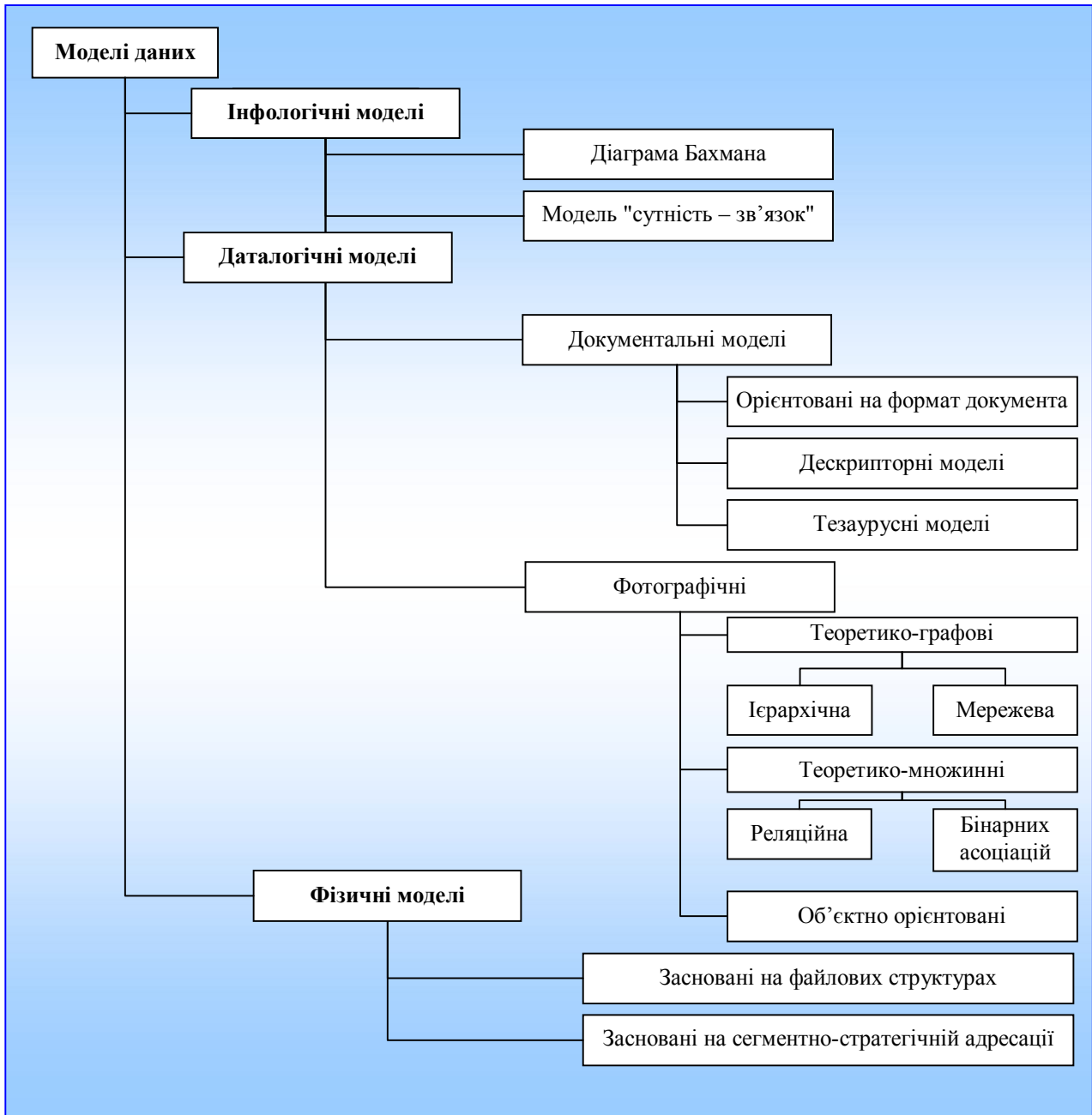


Рис. 11.2. Класифікація моделей даних за рівнями подання

11.2. Інфологічні моделі

Інфологічна модель (інформаційно-логічна модель, ІЛМ) – людиноорієнтована, незалежна від типу СКБД модель ПС, яка визначає сукупності інформаційних об’єктів, їх атрибутів і відношень між ними, динаміку змін ПО, а також характер інформаційних потреб користувачів.

Класифікація інфологічних моделей представлена на рис. 11.3.

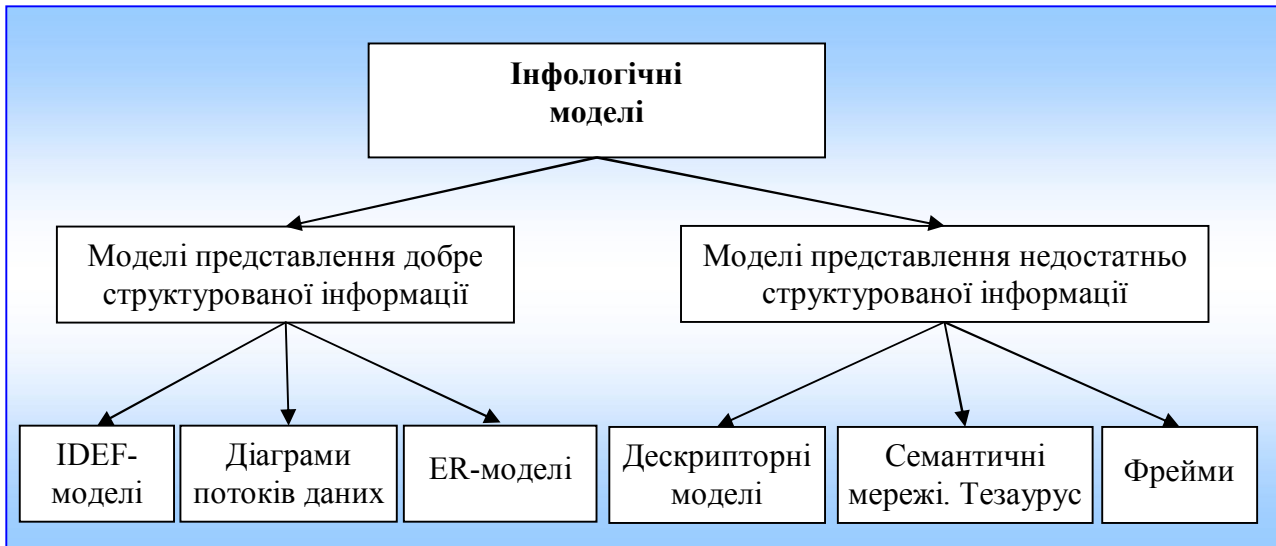


Рис. 11.3. Класифікація інфологічних моделей

ІЛМ даних використовуються на ранніх стадіях проектування для опису структур даних у процесі розробки баз даних або додатків.

Мета інфологічного проектування – створити структуровану інформаційну модель ПС, для якої розроблятиметься БД. Під час проектування на інфологічному рівні створюється ІЛМ, яка повинна:

- адекватно відображати модельовану ПС;
- однозначно трактувати модель;
- чітко визначати ПС, що моделюється (кінцевість моделі);
- легко розширюватись (забезпечувати введення і видалення нових даних без зміни попередньо визначених);
- забезпечувати композицію і декомпозицію моделі в зв'язку з великою розмірністю реальних інфологічних моделей;
- легко сприйматись різними категоріями користувачів (бажано, щоб ІЛМ модель будував або брав участь побудові фахівець, що працює в даній ПС, а не тільки проектувальник систем машинної обробки даних);
- забезпечувати можливість застосування мови специфікацій моделі як при ручному, так і при автоматизованому проектуванні СКБД.

ІЛМ ПС може бути описана різним чином (рис. 11.4).

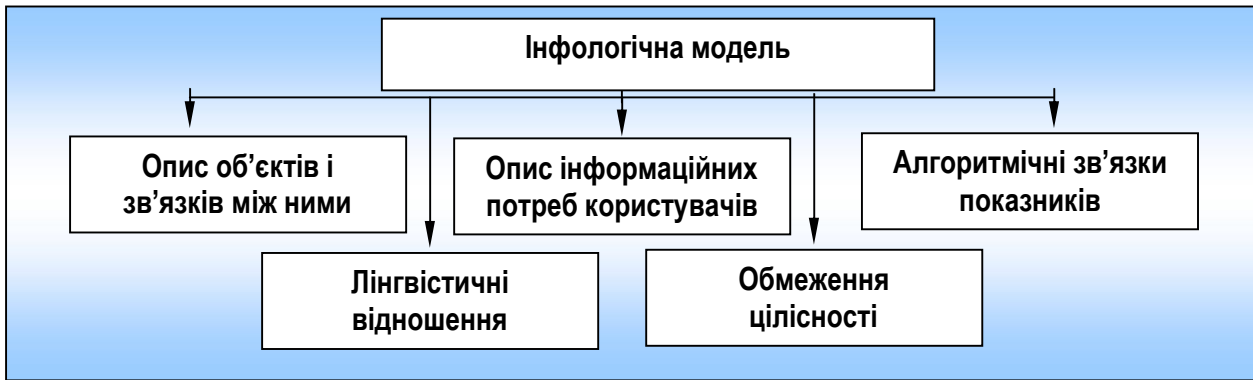


Рис. 11.4. Складові інфологічної моделі

Існує два підходи до інфологічного проектування: *аналіз об'єктів і синтез атрибутів (семантичні моделі)*. Підхід, що базується на аналізі об'єктів, називається *низхідним*, а на синтезі атрибутів – *висхідним*.

Семантичні моделі головну увагу приділяють структурі даних. Найбільш поширеною семантичною моделлю є модель "*сутність – зв'язок*" (Entity Relationship model, ER-модель).

ER-модель складається із *сутностей, зв'язків, атрибутів, доменів атрибутів, ключів*. Моделювання даних відображає логічну структуру даних, так само, як блок-схеми алгоритмів відображають логічну структуру програми.

Об'єктні моделі головну увагу приділяють поведінці об'єктів даних і засобам маніпуляції даними. Головне поняття таких моделей – *об'єкт*, тобто *сутність*, яка має стан і поведінку. Стан об'єкта визначається сукупністю його атрибутів, а поведінка об'єкта визначається сукупністю операцій специфікованих для нього.

Зближення цих моделей реалізується в розширеному ER-моделюванні (Extended Entity Relationship model, EER-модель).

Модель "сутність – зв'язок". Оскільки реальний світ складається із сутностей та зв'язків, модель "*сутність – зв'язок*" можна розглядати як універсальний спосіб подання даних. Основна мета побудови моделі "*сутність – зв'язок*" – забезпечення найбільш природного для людини способу збору та представлення даних і відомостей, які будуть зберігатися в базі даних.

Сутність – певний відокремлений об'єкт (який можна відрізнити від інших), відомості про який необхідно зберігати в базі даних.

При цьому розрізняють поняття *тип сутності* та *екземпляр сутності*. До типу сутності відносять набір однорідних даних, а кожний елемент набору буде екземпляром сутності. Наприклад, типом сутності може бути список землевласників, кожен з яких окремо буде його екземпляром.

Зв'язок – асоціювання двох або більше сутностей.

Оскільки в базі даних потрібні користувачеві дані можуть стосуватися різних сутностей, то необхідно вказати їх взаємозв'язок. Наприклад,

сутність *Товари* у моделі даних *Склад* пов'язана із двома сутностями *Постачальник* та *Споживач*. При цьому зрозуміло, що один і той самий тип товару можуть постачати різні постачальники, а споживати конкретний екземпляр товару – тільки конкретний споживач. Характер зв'язків між елементами бази даних визначає модель організації даних. Найбільш відомими є ієрархічна, мережева та реляційна моделі даних.

Модель "*сутність – зв'язок*" (англ. *Entity-relationship (ER) model* або *entity-relationship diagram*) – модель даних, яка дозволяє описувати концептуальні схеми за допомогою узагальнених конструкцій блоків. ER-модель була запроваджена Пітером Пін-Шен Ченом⁴¹ (Peter Chen) у 1976 р., який запропонував представляти ПС за допомогою графічних діаграм, що містять невелику кількість різнорідних компонентів.

Надалі багатьма авторами були розроблені свої варіанти подібних моделей (нотація Мартіна, нотація IDEF1X, нотація Баркера тощо). Крім того, різні програмні засоби, що реалізують одну й ту ж нотацію, можуть відрізнятися своїми можливостями. По суті, всі варіанти діаграм "*сутність – зв'язок*" виходять з однієї ідеї – малюнок завжди наочніший від текстового опису. Такі діаграми використовують графічне зображення сутностей предметної сфери, їх властивостей (атрибутів) і взаємозв'язків між сутностями.

ER-модель зручна при проектуванні інформаційних систем, баз даних, архітектур комп'ютерних додатків та інших систем (моделей). За допомогою такої моделі виділяють найсуттєвіші елементи (вузли, блоки) моделі і встановлюють зв'язки між ними.

Основними поняттями моделі "*сутність – зв'язок*" є *сутність*, *зв'язок* і *атрибут*.

Сутність (entity) – це реальний або уявний об'єкт, інформація про який повинна зберігатись у БД і бути доступною.

Кожна сутність повинна мати найменування, виражене іменником в однині. Прикладами сутностей можуть бути такі класи об'єктів, як "Район", "Ґрунт", "Водозбори". Для позначення сутності об'єкта в різних системах використовуються прямокутники, блоки з заокругленими кутами, овали з найменуванням тощо (рис. 11.5):



Рис. 11.5. Зображення сутності

⁴¹Пітер Пін-Шен Чен – американський професор комп'ютерних наук в університеті штату Луїзіана.

Примірюнок сутності – це конкретний представник даної сутності. Наприклад, представником сутності "Район" може бути "Район Деснянський". Екземпляри сутностей повинні бути помітними, тобто сутності повинні мати певні властивості, які б були унікальними для кожного екземпляра цієї сутності.

При визначенні типу сутності необхідно гарантувати, що кожний екземпляр сутності може бути відрізнений від будь-якого іншого екземпляра тієї ж сутності.

Атрибут сутності – це іменована характеристика, яка виступає певною властивістю сутності і слугує для уточнення, ідентифікації, класифікації, числової характеристики або виразу стану сутності. Імена атрибутів заносяться в прямокутник, що зображує сутність, під ім'ям. Найменування атрибута має бути виражене іменником в однині (іноді можливо з прикметником, який його характеризує). Прикладами атрибутів сутності "Співробітник" можуть бути такі атрибути, як "Табельний номер", "Прізвище", "Ім'я", "По батькові", "Посада", "Зарплата" тощо. Атрибути зображуються в межах прямокутника, що визначає сутність (рис. 11.6).

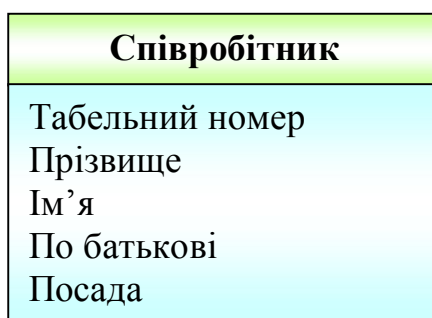


Рис. 11.6. Зображення атрибутів

Набір сутностей (entity set) – множина сутностей одного типу (що мають однакові властивості).

Сутність фактично є множиною атрибутів, що описують властивості всіх членів даного набору сутності.

Ключ сутності – це набір ненадлишкових атрибутів, значення яких у сукупності є унікальними для кожного екземпляра сутності. Ненадлишковість атрибута означає, що видалення будь-якого атрибута з ключа порушує його унікальність.

Сутність може мати кілька різних ключів. Ключові атрибути зображуються на діаграмі підкресленням (рис. 11.7).

Зв'язок – це графічно зображувана асоціація, що встановлюється між двома типами сутностей.

Район
Номер району
Назва району
Площа району
Кількість населення

Рис. 11.7. Зображення ключа

Одна сутність може бути пов'язана з іншою сутністю або сама з собою. Зв'язки дозволяють за однією сутністю знаходити інші, пов'язані з нею. Наприклад, зв'язки між сутностями можуть виражатися наступними фразами – "СПІВРОБІТНИК може мати декілька ДІТЕЙ", "кожен СПІВРОБІТНИК зобов'язаний числитися тільки в одному ВІДДІЛІ".

Зв'язок подається у вигляді неспрямованої лінії, яка з'єднує дві сутності або яка веде від сутності до неї самої (рис. 11.8):

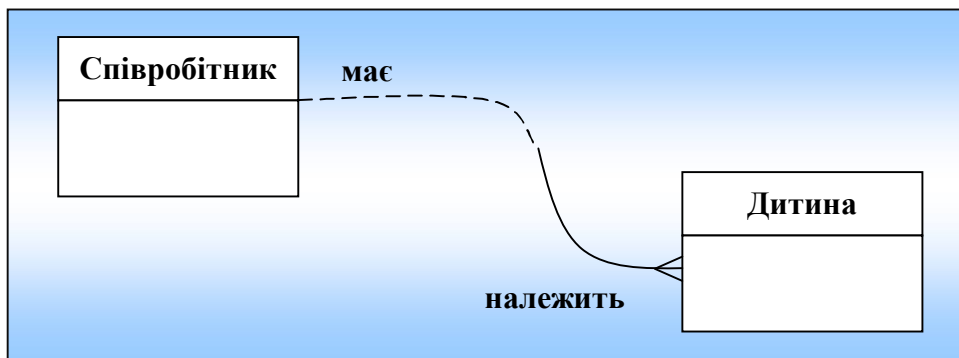


Рис. 11.8. Зображення зв'язку

В будь-якому зв'язку, відповідно до існуючої пари сутностей, що пов'язані між собою, виділяються два кінці. На кожному кінці зв'язку зазначаються *ім'я кінця зв'язку*, *ступінь кінця зв'язку* (скільки екземплярів даного типу сутності повинно бути присутнім у кожному екземплярі даного типу зв'язку), *обов'язковість зв'язку* (чи повинен будь-який екземпляр даного типу сутності брати участь у певному екземплярі даного типу зв'язку).

Примітка. Спостерігаються відмінності в способі зображення характеру зв'язків між об'єктами (використання "стрілок", "лапок", "точок" тощо для відображення "множинного" кінця зв'язку). Вони не накладають жодного відбитку на методологію побудови концептуальної моделі і алгоритм наступного переходу до даталогічної моделі.

Багато, щоб позначення, що використовуються, були інтуїтивно зрозумілими, занадто не захаращували модель, були прості в зображенні. Найчастіше переваги розробників у використанні тих або інших позначень визначаються просто звичкою. За можливості треба намагатись використовувати стандартизовані позначення або які широко поширені.

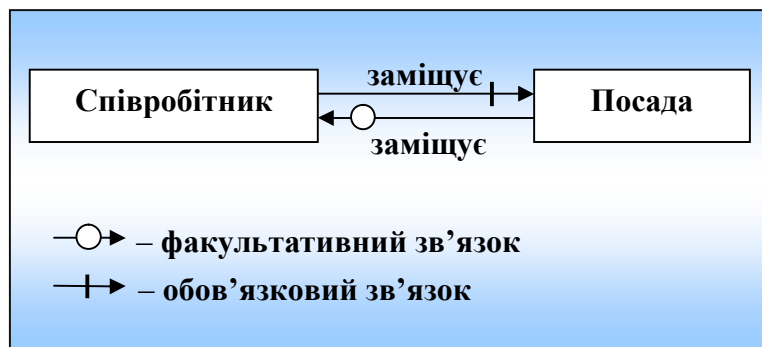


Рис. 11.9. Приклади обов'язкового і факультативного зв'язку

Зв'язки можуть бути *факультативними* або *обов'язковими* (рис. 11.9).

Кожен зв'язок має два кінці і одне або два найменування. Найменування зазвичай виражається в невизначеній дієслівній формі: "мати", "належати" тощо. Кожне з найменувань відноситься до свого кінця зв'язку. Іноді найменування не пишуться через їх очевидність.

Кожен зв'язок може мати один із типів зв'язку представлених на рис. 11.10.

Зв'язок типу "один до одного" означає, що один примірник першої сутності (лівої) пов'язаний з одним примірником другої сутності (правої). Зв'язок "один до одного" найчастіше свідчить про те, що насправді ми маємо всього одну сутність, неправильно розділену на дві.

Зв'язок типу "один до багатьох" означає, що один примірник першої сутності (лівої) пов'язаний з декількома екземплярами другої сутності (правої). Це найбільш часто використовуваний тип зв'язку. Ліва сутність (з боку "один") називається батьківською. Права (з боку "багато") – дочірньою.



Рис. 11.10. Типи зв'язків

Зв'язок типу "багато до багатьох" означає, що кожен екземпляр першої сутності може бути пов'язаний з декількома екземплярами іншої сутності, і кожен примірник іншої сутності може бути пов'язаний з декількома примірниками першої сутності. Тип зв'язку "багато до багатьох" є тимчасовим типом зв'язку, який припустимий на ранніх етапах

розробки моделі. Надалі цей тип зв'язку повинен бути замінений двома зв'язками типу "один до багатьох" шляхом створення проміжної сутності.

Кожен зв'язок може мати одну з двох модальностей⁴² зв'язку (рис. 11.11):



Рис. 11.11. Типи модальностей зв'язку

Модальність "може" означає, що екземпляр однієї сутності може бути пов'язаний з одним або кількома екземплярами іншої сутності, а може бути й не пов'язаний з жодним екземпляром.

Модальність "повинен" означає, що примірник однієї сутності зобов'язаний бути пов'язаний не менш ніж з одним примірником іншої сутності.

Зв'язок може мати різну модальність з різних кінців (рис. 11.11).

Описаний графічний синтаксис дозволяє однозначно читати діаграми, користуючись наступною схемою побудови фраз:

<Кожен примірник СУТНОСТІ 1> <Модальні ЗВ'ЯЗКИ>
<НАЙМЕНУВАННЯ ЗВ'ЯЗКУ> <ТИП ЗВ'ЯЗКУ> <примірник СУТНОСТІ 2>

Кожен зв'язок може бути прочитаний як зліва направо, так і справа наліво. Зв'язок на рис. 11.8 можна читати зліва направо: "кожен співробітник може мати декілька дітей", справа наліво: "кожна дитина зобов'язана належати рівно одному співробітнику".

Простота і наочність подання концептуальних схем баз даних у моделі "сутність – зв'язок" стали причиною її широкого поширення й популярності серед розробників баз даних.

Діаграма Бахмана – це орієнтований граф, вершини якого відповідають групам (типам записів), а дуги – груповим відношенням (рис. 11.12).

Тут запис типу *Поліклініка* є власником записів типу *Мешканець*, і вони зв'язані груповим відношенням *диспансеризація*. Запис типу *Організація* також є власником записів типу *Мешканець*, і вони зв'язані груповим відношенням *працюють*. Записи типу *РЕУ* і типу *Мешканець* є власниками записів типу *Квартира* з відношенням відповідно *обслуговують* і *проживають*. Таким чином, запис одного й того ж типу може бути членом одного відношення і власником іншого.

⁴²**Модальність** (від лат. *modus* – розмір, спосіб, образ) у різних предметних сферах – категорія, що характеризує спосіб дії або відношення до дії.

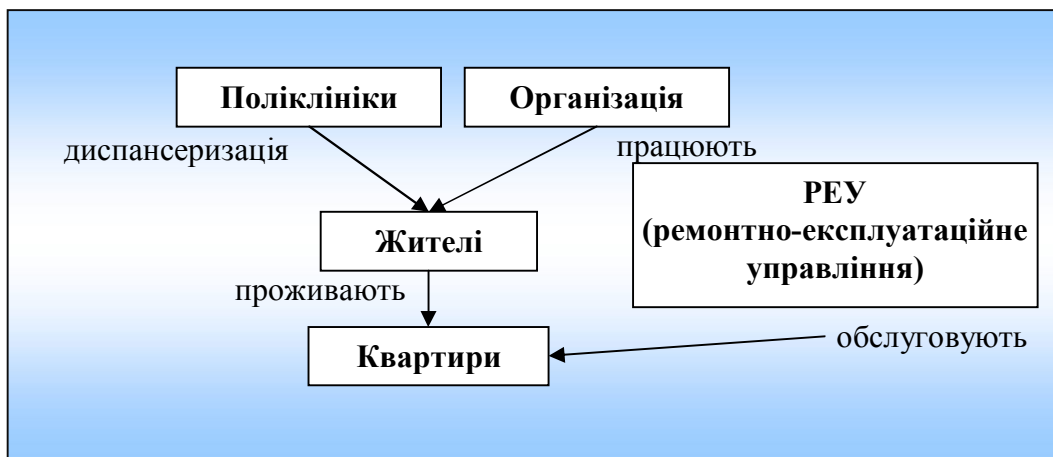


Рис. 11.12. Приклад діаграми Бахмана для фрагмента БД "Місто"

Організація моделі даних у СКБД мережевого типу визначається в термінах: *елемент, агрегат, запис, групове відношення, БД.*

Елемент – найменша одиниця структури даних.

Агрегат – іменована сукупність елементів або інших агрегатів.

Запис – агрегат, який не входить до складу жодного іншого агрегату і становить основну одиницю обробки БД.

Тип запису визначається складом її елементів.

Групове відношення – ієрархічне відношення між записами двох типів.

Записи одного типу є власниками відношення, іншого – підлеглими.

Мережева модель даних підтримує БД мережевої структури. В мережевій моделі даних припускаються такі операції над об'єктами:

Запам'ятати – заносить новий запис і автоматично включає в групове відношення з відповідною підпорядкованістю.

Вкл. в групове відношення – дозволяє зв'язати підпорядкований запис, що відповідає запису-власнику.

Переключити – змінює запис-власника в тому ж груповому відношенні.

Обновити – змінює значення елементів запису, перед оновленням відповідний запис повинен бути витягнутий.

Витягнути, Видалити, Виключити з групового відношення – розриває зв'язок між записом-власником і підпорядкованим.

Особливості обробки даних у мережевих моделях:

1. Основна одиниця обробки – запис.
2. Обробка може починатись з будь-якого запису, незалежно від її розташування в структурі.
3. Від конкретного запису можливий перехід як до запису запису-власника, так і до підпорядкованого запису.

11.3. Даталогічні моделі

На етапі даталогічного проектування розробляється перехід від інфо-логічної моделі до логічної (комп'ютерно орієнтованої), яка підтримується засобами конкретної СКБД. Процес переходу називається *відображенням*. На етапі даталогічного проектування необхідно вибрати тип СКБД і конкретну СКБД.

Основними чинниками, які впливають на даталогічне проектування з боку СКБД, є:

1. Тип логічної моделі, яку підтримують вибрані СКБД.
2. Особливості фізичної організації даних, вибраних СКБД.
3. Кількісні обмеження, які накладає СКБД.
4. Тип обчислювального середовища, в якому може працювати СКБД і необхідні обчислювальні ресурси.
5. Документування, і вартість реалізації.

Даталогічні моделі поділяються на *документальні і фактографічні* (рис. 11.13).

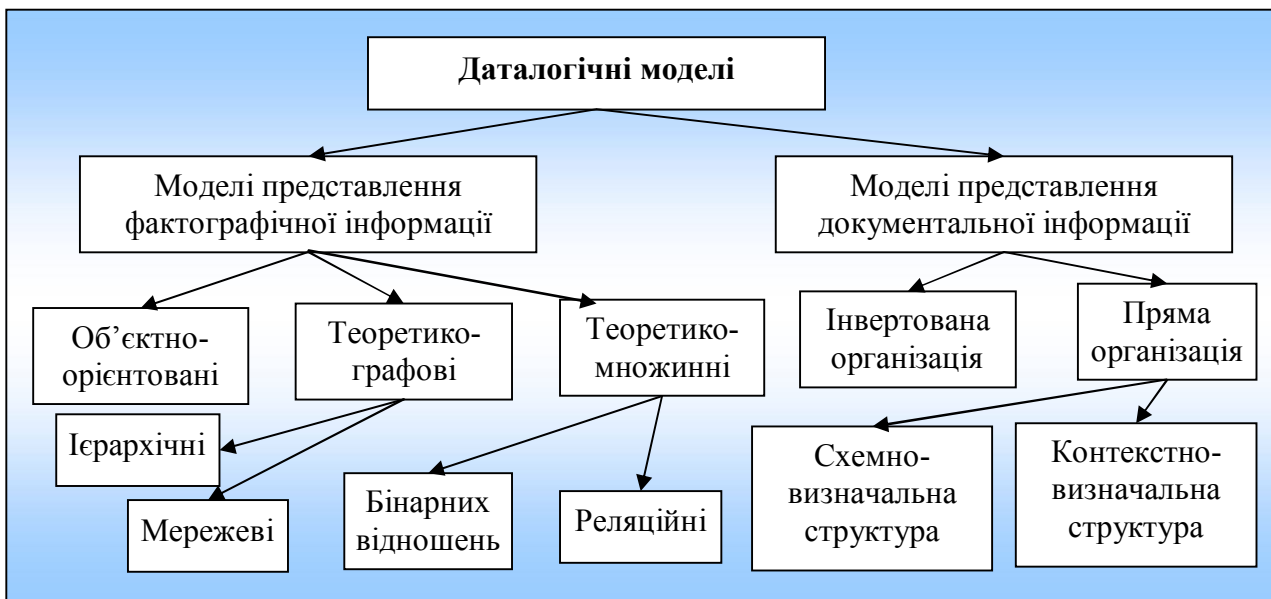


Рис. 11.13. Приклад діаграми Бахмана для фрагмента БД "Місто"

Документальні моделі даних відповідають представленню слабо структурованої інформації, яка орієнтована головним чином на вільні формати документів, наприклад, тексти природної мови або з гіпертекстової розмітки. Документальні моделі класифікують на *орієнтовані на формат документа, дескрипторні і тезаурусні моделі*.

Моделі, орієнтовані на формат документа. Пов'язані передусім зі стандартною мовою розмітки документів – SGML (Standart Generalised Markup Language), яка була затверджена ISO як стандарт ще в 80-х рр.

XX ст. Ця мова призначена для створення інших мов розмітки, визначає припустимий набір тегів⁴³ (посилань), їх атрибути і внутрішню структуру документа. Контроль за правильністю використання тегів здійснюється за допомогою спеціального набору правил, які називаються DTD-описами і використовуються програмою клієнта при розборці документа. Для кожного класу документів визначається свій набір правил, що описує граматику відповідної мови розмітки. За допомогою SGML можна описувати структуровані дані, організовувати інформацію, що міститься в документах, подавати цю інформацію в певному стандартизованому форматі. Але зважаючи на свою складність, SGML використовувалась головним чином для опису синтаксису інших мов (найбільш відомою з яких є HTML), і невелика кількість додатків працювали з SGML-документами напямую.

HTML виявилася набагато простішою і зручнішою за мову SGML і дозволяє визначати оформлення елементів документа та має певний обмежений набір інструкцій – тегів, за допомогою яких здійснюється процес розмітки. Інструкції HTML у першу чергу призначені для керування процесом виведення змісту документа на екрані програми-клієнта, визначаючи при цьому спосіб представлення документа, але не його структуру. Елементом гіпертекстової бази даних, що описується HTML, виступає текстовий файл, який може легко передаватись по мережі з використанням протоколу HTTP. Ця особливість, а також те, що HTML є відкритим стандартом і величезна кількість користувачів має можливість використовувати можливості цієї мови для оформлення своїх документів, безумовно, вплинули на зростання популярності HTML і зробили її сьогодні головним механізмом представлення інформації в Інтернеті.

Однак сьогодні HTML вже не задовольняє певною мірою вимоги, що висувуються сучасними розробниками до мов подібного роду. Тому їй на зміну була запропонована нова мова гіпертекстової розмітки, потужна, гнучка і, одночасно з цим, зручна мова XML.

XML (Extensible Markup Language) – це мова розмітки, яка описує цілий клас об'єктів даних, що називаються XML-документами. Вона використовується як засіб для опису граматики інших мов і контролю за правильністю складання документів. Тобто сама по собі XML не містить жодних тегів, призначених для розмітки, вона просто визначає порядок їх створення.

Тезаурусні моделі засновані на принципі організації словників, містять певні мовні конструкції і принципи їх взаємодії в заданій граматиці. Ці моделі досить широко й ефективно використовуються в системах-перекладачах, особливо багатомовних.

⁴³**Теги розмітки** – спеціальні команди для розміщення на екрані тексту, графіки, відео і аудіо-фрагментів, а також команди, що слугують для зв'язку з іншими HTML-документами та інтернет-ресурсами.

Дескрипторні моделі – найпростіші документальні моделі, що широко застосовувались на ранніх стадіях використання документальних баз даних. У цих моделях кожному документу призначався *дескриптор*⁴⁴, який описував документ за певними ключовими характеристиками. Цей дескриптор мав жорстку структуру і описував документ відповідно до тих характеристик, які вимагались для роботи з документами в базі даних, що розроблялась. Наприклад, для БД, що містила опис патентів, дескриптор включав назву області, до якої відносився патент, номер патенту, дату видачі патенту і ще низку ключових параметрів, які заповнювались для кожного патенту. Обробка інформації в таких базах даних велась виключно за дескрипторами, тобто за тими параметрами, які характеризували патент, а не сам текст патенту.

Фактографічні моделі даних описують процеси чи об'єкти, що характеризують який-небудь факт чи подію. Такі дані подаються в структурованому вигляді; над ними можна виконувати різноманітні допустимі операції.

Фактографічні моделі даних на відміну від документальних моделей відповідають представленню про структуровану інформацію. До таких моделей відносяться моделі даних на основі інвертованих списків, теоретико-графові і теоретико-множинні моделі даних, а також об'єктно-орієнтовані моделі даних.

Моделі даних на основі інвертованих файлів. У 60-х рр. ХХ ст. з'явилися СКБД на основі інвертованих файлів, які відрізнялись простотою організації і наявністю мов маніпулювання даними.

БД, заснована на застосуванні інвертованих файлів, є найпростішою і становить набір файлів, доступ до яких здійснюється за допомогою програм, у яких чітко прописано, в яких позиціях у файлі знаходиться необхідна інформація. Наприклад, якщо основний файл містить поля: "ім'я", "по батькові", "прізвище", "номер відділу", "номер кімнати", то, упорядкувавши цей файл за першими трьома полями, можна легко знаходити для кожного співробітника відділ, де він працює, або кімнату, де знаходиться його робоче місце. Однак, щоб отримати список усіх співробітників якогось відділу, таке упорядкування буде марним. Хоча можна інвертувати список, упорядкувавши його за відділами. Аналогічно, якщо виникне потреба визначення всіх співробітників, які працюють у певній кімнаті, то можна побудувати ще одне упорядкування – за номерами кімнат.

Недоліком такого підходу є те, що він не задовольняє моделі ANSI/SPARC, оскільки і логічна і фізична структура збереження даних

⁴⁴**Дескриптор** (лат. descriptor – що описує) – лексична одиниця (слово, словосполучення) інформаційно-пошукової мови, яка виражає основний зміст певного тексту. Використовується при інформаційному пошуку документів в інформаційно-пошукових системах.

прихована в програмі. У міру розширення системи зростає кількість файлів і програм, які обробляються, що призводить до дублювання даних. При цьому безпека системи забезпечується лише на рівні операційної системи, що призводить до зниження ефективності роботи.

До числа найбільш відомих і типових представників таких систем відносяться Dacom/DB компанії Applied Data Research, Inc. (ADR), орієнтована на використання на машинах основного класу фірми IBM, і Adabas компанії Software AG.

Організація доступу до даних на основі інвертованих списків використовується практично в усіх сучасних реляційних СКБД, але в цих системах користувачі не мають безпосереднього доступу до інвертованих списків (індексів).

База даних, організована за допомогою інвертованих списків, схожа на реляційну БД, але з тією відмінністю, що збережені таблиці і шляхи доступу до них видні користувачам. При цьому:

- рядки таблиць упорядковані системою в певній фізичній послідовності;
- фізична упорядкованість рядків усіх таблиць може визначатися і для усієї БД (так робиться, наприклад, в Dacom/DB);
- для кожної таблиці можна визначити довільне число ключів пошуку, для яких будуються індекси. Ці індекси автоматично підтримуються системою, але явно видні користувачам.

Теоретико-графові моделі даних є ранніми моделями даних, що стали домінувати в галузі проектування баз даних, починаючи з 70-х рр. XX ст.

Перша версія ієрархічної моделі даних з'явилась у 1968 р. Простота організації, наявність заздалегідь заданих зв'язків між сутностями, схожість з фізичними моделями даних дозволяли домогтися прийнятної продуктивності ієрархічних СКБД на повільних комп'ютерах з малим об'ємом пам'яті.

Ієрархічні БД підтримують деревоподібну організацію інформації (рис. 11.14).

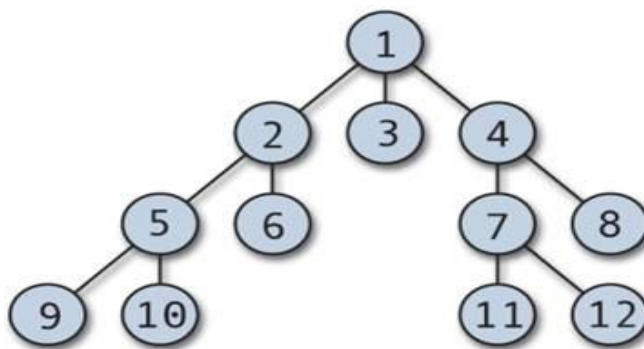


Рис. 11.14. Приклад ієрархічної моделі даних

Зв'язки між записами виражаються у вигляді відношень "предок – нащадок", а у кожного запису є рівно один батьківський запис. Це допомагає підтримувати посилальну цілісність. Коли запис видаляється з дерева, всі її нащадки також повинні бути видалені. Проте, якщо дані не мають деревоподібної структури, то виникають складнощі при побудові бази даних.

Ієрархічна структура даних є найпростішою серед усіх датованих моделей і визначається ієрархічною впорядкованістю своїх компонентів (або вузлів).

Ієрархічна структура передбачає:

- кожний вузол на більш низькому рівні пов'язується тільки з одним вузлом, що знаходиться на більш високому рівні, тобто кожен вузол має не більше одного "батька" – старшого за ієрархією вузла;

- ієрархічне дерево має тільки один вузол, не підпорядкований жодному іншому вузлу і який знаходиться на найвищому верхньому – першому рівні;

- до кожного вузла бази даних існує тільки один ієрархічний шлях від кореневого вузла.

Ієрархічна модель даних будується за принципом ієрархії типів об'єктів, тобто один тип об'єкта визначається головним, а інші, що перебувають на більш низьких рівнях ієрархії – підпорядкованими. В теорії графів така структура називається *коренем дерева*.

Між головним і підпорядкованими об'єктами встановлюється зв'язок "один до багатьох".

Кількість дерев у базі даних визначається кількістю корневих записів.

Орієнтація на кореновому дереві визначається або від коріння, або до коріння (рис. 11.15).

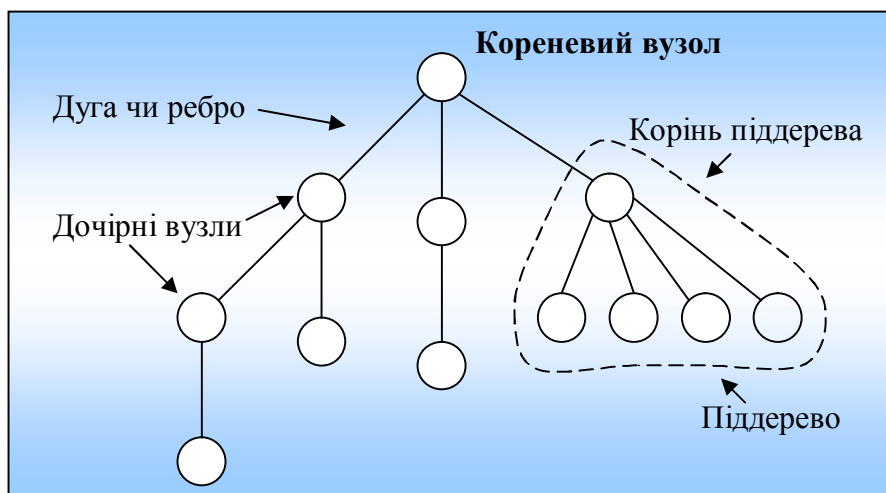


Рис. 11.15. Узагальнений вигляд деревоподібної структури

Верхній вузол називається *кореневим вузлом*. Він може мати нуль чи декілька дочірніх вузлів, які, у свою чергу, також можуть мати нуль чи

декілька дочірніх вузлів. У результаті цього подібна структура може бути визначена рекурсивно. Всі вузли дерева, за винятком кореня, повинні мати батьківський вузол. Довільна частина дерева, що виходить з одного вузла (окрім кореня дерева), називається піддеревом. Якщо до верхівки не заходить жодне ребро, дерево стає *орієнтованим*.

Основними інформаційними одиницями ієрархічної структури БД є *сегмент і поле*.

Поле даних – мінімальна, неподільна одиниця даних, що доступна користувачу за допомогою СКБД.

Сегмент називається записом, при цьому визначаються 2 поняття: *тип сегмента* або *тип запису*; *екземпляр сегмента* або *екземпляр запису*.

Тип сегмента – це поіменована сукупність типів елементів даних, що в нього входять.

Екземпляр сегмента – конкретні значення полів або елементів даних, що входять до нього.

Кожний тип сегмента в рамках моделі утворює певний набір однорідних записів. Для можливості розрізнення окремих записів в одному наборі кожен тип сегмента повинен мати ключ або набір ключових атрибутів (полів, елементів даних).

Ключем називається набір елементів даних, які однозначно ідентифікують екземпляр сегмента.

При цьому вважають, що спрямовані ребра графів відбивають ієрархічні зв'язки між сегментами кожного екземпляра. Тип сегмента, що перебуває на найвищому рівні ієрархії, називається *логічно вихідним* по відношенню до типів сегментів, які з'єднані з даними, спрямовані ієрархічно ребрами.

При роботі з узагальненою деревоподібною структурою використовуються два методи доступу до всіх вузлів (типів записів) усередині дерева. Перший метод починається з доступу до кореня з наступним обробленням всього дерева та доступом до піддерев у порядку зліва направо. Це *прямий порядок обходу дерева*. Другий метод починається із доступу до найнижчих вузлів з поступовим висхідним переходом від одного піддерева до другого зліва направо та із завершенням обробки в корені. Цей метод називають *зворотним порядком обходу дерева*.

До переваг ієрархічної моделі даних відносять простоту організації, наявність заздалегідь заданих зв'язків між сутностями, подібність з фізичними моделями даних. Це дозволило домогтися прийнятної продуктивності ієрархічних СКБД на повільних ЕОМ того часу з доволі обмеженими обсягами пам'яті.

Але якщо дані не мали деревоподібною структурою, то виникало безліч труднощів при побудові ієрархічної моделі й бажанні домогтися потрібної продуктивності.

До недоліків ієрархічної моделі треба віднести її громіздкість для оброблення інформації з достатньо складними логічними зв'язками, а також складність її розуміння для звичайного користувача.

Приклади ієрархічних СКБД:

- 1) IMS (Information Management System) фірми IBM (перша версія 1968 р.);
- 2) TDMS (Time-Shared Data Management System) компанії Development Corporation;
- 3) Mark IV Multi-Access Retrieval System компанії Control Data Corporation;
- 4) System 2000 виробництва SAS-Institute;
- 5) сервери каталогів, такі як LDAP і Active Directory (допускають чітке подання у вигляді дерева);
- 6) реєстр операційної системи Windows, що побудований за принципом ієрархічної БД. Google App Engine Datastore API тощо.

Мережеві моделі також створювались для малоресурсних комп'ютерів. Мережева модель розширює ієрархічну модель, дозволяючи групувати зв'язки між записами в множині. З логічної точки зору зв'язок – це не сам запис. Зв'язки лише висловлюють відношення між записами. Як і в ієрархічній моделі, зв'язки ведуть від батьківського запису до дочірнього, але в цьому разі підтримується множинне спадкування (рис. 11.16).

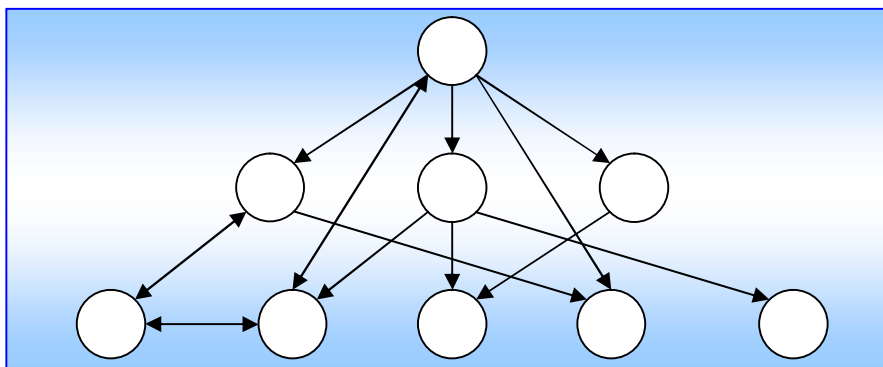


Рис. 11.16. Приклад мережевої моделі даних

Застосування мережевої моделі даних дозволило збільшити продуктивність СКБД, проте суттєво їх ускладнила.

Складність практичного використання ієрархічних і мережевих СКБД змушувала шукати інші способи представлення даних.

Теоретико-множинні моделі даних. У червні 1970 р. співробітник IBM Едгар Кодд опублікував статтю "Реляційна модель для великих банків спільно використовуваних даних", яка перевернула теорію баз даних і принесла доктору Кодду нагороду Тюрінга в 1981 р. В реляційних моделях даних ключовим поняттям є відношення (від англійського слова

"relation"), що становить собою множину елементів, які називаються кортежами, кожному з яких відповідає атрибут.

У реляційній моделі даних об'єкти і взаємозв'язки між ними подаються за допомогою таблиць (рис. 11.17).

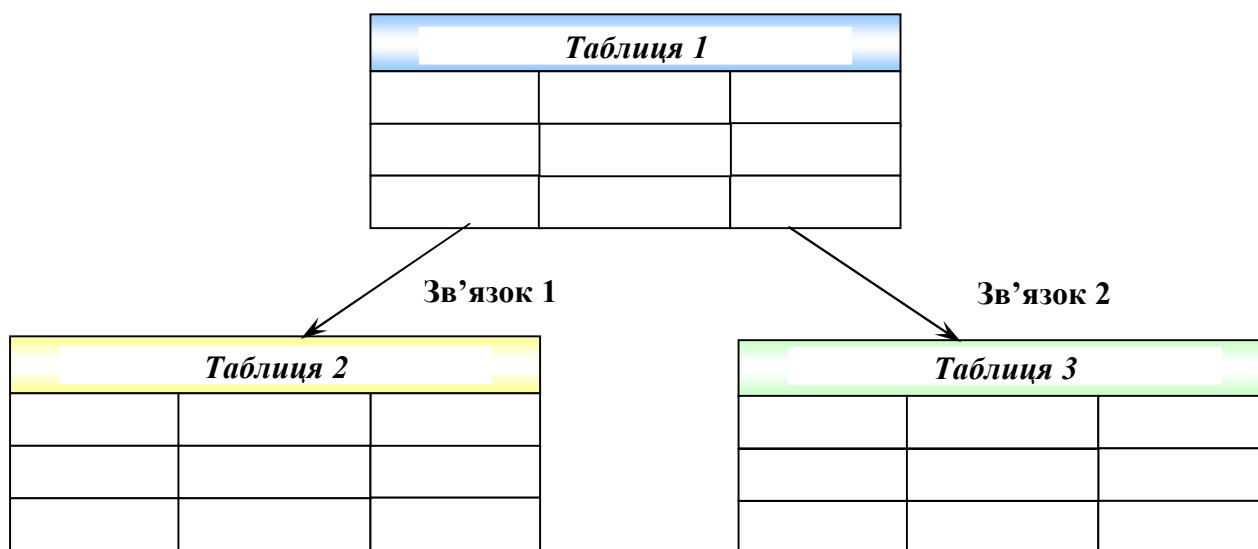


Рис. 11.17. Реляційна модель

Взаємозв'язки також розглядаються як об'єкти. Кожна таблиця подає один об'єкт і складається із рядків (запис, кортеж) і стовпчиків (поле, домен).

У реляційній базі даних кожна таблиця повинна мати первинний ключ-поле або комбінацію полів, які єдиним чином ідентифікують кожний рядок у таблиці. Завдяки своїй простоті і природності подання реляційна модель одержала надзвичайно широке поширення в БД.

Перевагами реляційної моделі даних є простота, зрозумілість і зручність фізичної реалізації.

Основним недоліком реляційної моделі даних є складність опису ієрархічних і мережових зв'язків, однак це не завадило реляційній моделі широко використовуватись розробниками баз даних.

Сьогодні, крім реляційної моделі в чистому вигляді, СКБД підтримують її розширення, що є змішаними і доповненими моделями, до яких відносяться *постреляційні* і *багатомірні моделі*.

Постреляційна модель даних – це розширена реляційна модель, яка знімає обмеження неподільності даних, що зберігаються в кортежах відношень за допомогою використання багатозначних атрибутів, значення яких складаються з підзначень. Набір значень багатозначних атрибутів вважається самостійним відношенням, убудованим в основне відношення. Крім забезпечення вкладеності атрибутів, постреляційна модель підтримує асоційовані багатозначні атрибути.

Недоліком постреляційної моделі даних є складність розв'язку проблеми забезпечення цілісності даних.

Багатовимірні моделі почали активно використовуватись у 90-х рр. ХХ ст. для розв'язку задач аналізу і прийняття рішень. Основними поняттями, що використовуються в багатомірних СКБД, є агрегованість, історичність і прогнозованість даних, а також вимір і комірка.

Агрегованість даних – це розгляд інформації на різних рівнях її узагальнення.

Історичність даних передбачає забезпечення високого рівня статичності даних і їх взаємозв'язків, а також прив'язки даних до часу.

Прогнозованість даних передбачає задання функцій прогнозування і їх застосування до різних інтервалів часу.

Багатомірність моделі даних виражається в багатомірному логічному поданні структури даних, що приводить до більш високої наочності і інформативності.

Вимірювання становить множину однотипних даних, які утворюють одну з граней гіперкуба. Коміркою називають поле, значення якого однозначно визначається фіксованим набором вимірів. На рис. 11.18 наведено приклад багатомірної моделі даних. Кожне значення комірки "Температура" однозначно визначається географічним місцем розташування, датою і часом доби. Для розв'язку практичних задач необхідно будувати гіперкуби з великою кількістю вимірів.



Рис. 11.18. Приклад багатомірної моделі даних

Об'єктно орієнтовані моделі даних. Об'єктно орієнтовані моделі даних виникли порівняно давно. Публікації з'явилися у середині 80-х рр. ХХ ст.

В об'єктно орієнтованій моделі даних між записами бази даних і функціями їх обробки встановлюються взаємозв'язки за допомогою механізмів, подібних відповідним засобам в об'єктно орієнтованих мовах програмування.

Основними поняттями, що використовуються в об'єктно орієнтованих моделях даних, є *поліморфізм*, *спадкування* й *інкапсуляція*.

Інкапсуляція – це механізм, який об'єднує дані та методи, що маніпулюють цими даними, і захищає і те, й інше від зовнішнього втручання або неправильного використання. Коли методи і дані об'єднуються таким способом, створюється об'єкт.

Застосовуючи інкапсуляцію, ми начебто будуємо фортецю, яка захищає дані, що належать об'єкту, від можливих помилок, що можуть виникнути при прямому доступі до цих даних. Крім того, застосування цього принципу дуже часто допомагає локалізувати можливі помилки в коді програми. А це набагато спрощує процес пошуку і виправлення цих помилок.

Можна сказати, що інкапсуляція має на увазі приховування даних (*data hiding*), що дозволяє таким чином захистити ці дані.

Сутність інкапсуляції полягає в тому, що змінні стану об'єкта приховані від зовнішнього світу. Зміна стану об'єкта (його змінних) можлива тільки за допомогою його методів (операцій).

Спадкування поширює сферу видимості властивостей на усіх нащадків об'єкта.

Поліморфізм означає можливість мати в об'єктах різних типів методи з однаковими іменами. Дані в таких об'єктно орієнтованих СКБД здатні прийняти вид будь-якої структури, яку можна описати на використовуваній мові програмування. Відношення між об'єктами також можуть бути будь-якими складними.

При цьому розв'язується декілька дуже важливих проблем. По-перше, складні інформаційні структури виражаються в них краще, ніж у реляційних базах даних, а по-друге, усувається необхідність транслювати дані з того формату, який підтримується в СКБД.

Недоліком же об'єктно орієнтованих баз даних є їх тісний зв'язок з використовуваною мовою програмування, низька швидкість виконання запитів і складність роботи з даними.

11.4. Фізичні моделі

Фізична модель (рис. 11.19) БД є комп'ютерно орієнтованою і містить структури даних, що зберігаються в пам'яті ЕОМ, включаючи опис форматів даних, порядок їх логічного чи фізичного упорядкування, розміщення за типами пристроїв, а також характеристики і шляхи доступу до даних.

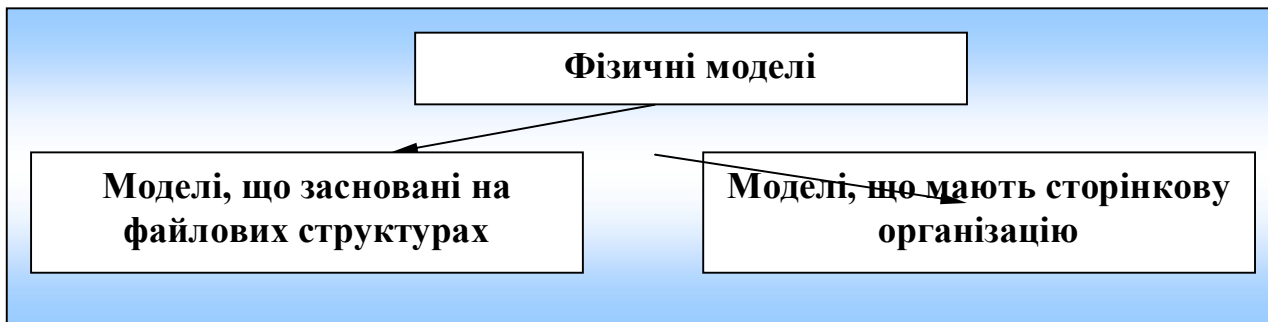


Рис. 11.19. Приклад багатомірної моделі даних

Від параметрів фізичної моделі залежать такі характеристики функціонування БД, як обсяг пам'яті і час реакції системи. Фізичні параметри БД можна змінювати у процесі її експлуатації (не змінюючи при цьому опису інших рівнів) з метою підвищення ефективності функціонування системи.

На даний час як фізичні моделі використовуються різні методи розміщення даних, засновані на файлових структурах (рис. 11.20): це організація файлів прямого і послідовного доступу, індексних файлів та інвертованих файлів, що використовують різні методи хешування⁴⁵, взаємопов'язаних файлів. Крім того, сучасні СКБД широко використовують сторінкову організацію даних.

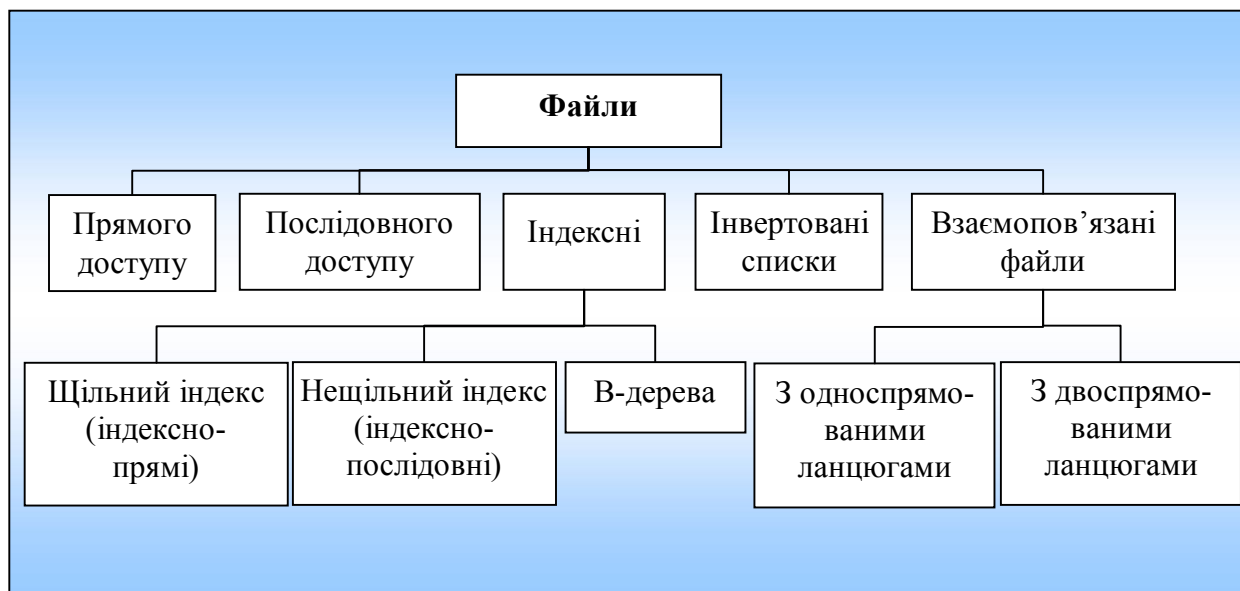


Рис. 11.20. Класифікація файлів, що використовуються в СКБД

⁴⁵**Хешування** (іноді гешування, англ. hashing) – перетворення вхідного масиву даних довільної довжини на вихідний бітовий рядок фіксованої довжини.

ХІІ. РЕЛЯЦІЙНІ МОДЕЛІ ТА НОРМАЛІЗАЦІЯ ВІДНОШЕНЬ У НИХ

*Життя приборкується двома речами:
створенням баз даних і їх викладанням.
Віктор де Бравуа*

Як було відзначено раніше, реляційна модель даних була запропонована співробітником фірми ІВМ Едгаром Коддом, який виклав основні ідеї в статті "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks" ("Реляційна модель для великих банків спільно використовуваних даних").

Причина, за якою такі системи називають реляційними, полягає в тому, що англійській термін "relation", по суті, є прийнятою математичною назвою таблиці.

Реляційна модель даних дозволила перебороти недоліки мережесих та ієрархічних моделей, а наочність і чітке теоретичне пророблення принесли велику популярність моделі серед розробників баз даних.

12.1. Загальні відомості про реляційні моделі баз даних

Принципи реляційної моделі були сформульовані в 1969–1970 рр. Е. Ф. Коддом (E. F. Codd), який на той час працював у корпорації ІВМ.

Наприкінці 1968 р. Кодд, математик за освітою, вперше прийшов до висновку, що для впровадження в сферу баз даних строгих і точних принципів можна використати математичну теорію, зокрема теорію множин (об'єднання, перетин, різниця, декартовий добуток) і логіку предикатів. Свої ідеї він виклав у статті "A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks" ("Реляційна модель для великих банків спільно використовуваних даних"). Він показав, що будь-яке подання даних зводиться до сукупності двовимірних таблиць особливого виду, відомих у математиці як *відношення* (relation).

Запропонувавши реляційну модель даних, Кодд створив і інструментарій для зручної роботи з відношеннями – реляційну алгебру. Кожна операція цієї алгебри використовує одну або декілька таблиць (відношень) як її операндів й отримує в результаті нову таблицю, тобто дозволяє "розрізати" або "склеювати" таблиці (рис. 12.1).

Робота Е. Кодда сприяла появі великої кількості статей і книг, у яких реляційна модель отримала подальший розвиток. Найбільш розповсюджене трактування реляційної моделі даних належить К. Дейту. Згідно з Дейтом, реляційна модель складається з трьох частин:

- структурної;
- цілісної;
- маніпуляційної.

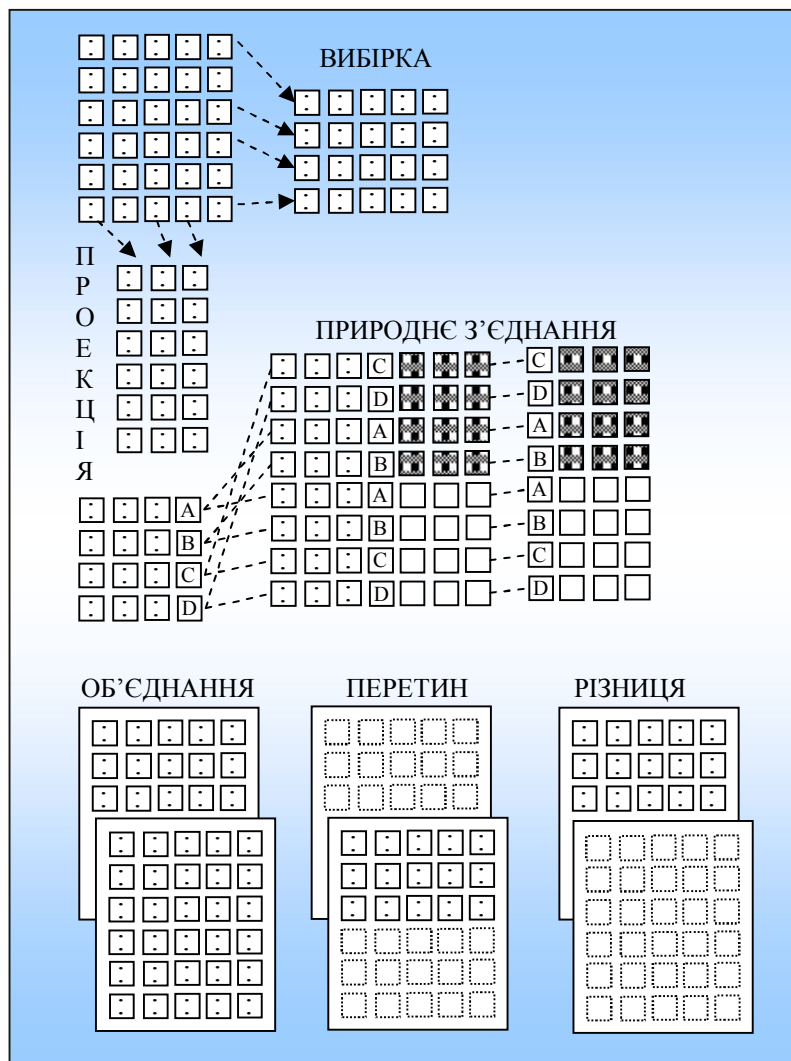


Рис. 12.1. Приклади операцій реляційної алгебри

Структурна частина описує, які саме об'єкти розглядаються реляційною моделлю. Постулюється, що єдиною структурою даних, які використовуються в реляційній моделі, є нормалізовані n -арні відносини.

Цілісна частина описує обмеження спеціального виду, що повинні виконуватися для будь-яких відносин у будь-яких реляційних базах даних. Це **цілісність сутностей** і **цілісність зовнішніх ключів (посилань)**.

Маніпуляційна частина описує два еквівалентні способи маніпулювання реляційними даними – **реляційну алгебру** і **реляційне числення**.

Реляційна алгебра в явному вигляді становить набір операцій, які можна використовувати, щоб повідомити системі, як в БД з певних відношень реально побудувати необхідне відношення.

Реляційні оператори мають одну важливу властивість: вони замкнені відносно поняття відношення. Це означає, що вирази реляційної алгебри визначаються над відношеннями реляційних БД і результатом обчислень також є відношення. Оскільки результатом будь-якої реляційної операції є певне відношення, можна утворювати реляційні вирази, в яких замість відношення-операнда певної реляційної операції знаходиться вкладений реляційний вираз.

Вирази реляційної алгебри будуються на основі алгебраїчних операцій (високого рівня), і подібно тому, як інтерпретуються арифметичні і логічні вирази, вираз реляційної алгебри також має процедурну інтерпретацію. Інакше кажучи, запит, поданий мовою реляційної алгебри, може бути обчислений на основі елементарних алгебраїчних операцій з урахуванням їх старшинства і можливої наявності дужок.

Набір основних алгебраїчних операцій складається з восьми операцій, які діляться на два класи – теоретико-множинні операції і спеціальні реляційні операції, доповнені певними спеціальними операціями, специфічними для баз даних.

До складу теоретико-множинних операцій входять традиційні операції над множинами:

- об'єднання;
- перетин;
- різниця;
- декартовий добуток.

Спеціальні реляційні операції включають:

- вибірку;
- проєкцію;
- природне з'єднання;
- ділення.

Ці ідеї стали загальноприйнятими й істотно вплинули на всі аспекти технологій баз даних, а також на інші галузі інформаційних технологій, такі як штучний інтелект, обробка природних мов і проектування програмних засобів тощо.

До Е. Кодда в теорії БД використовувались лише певні, ретельно підібрані визначення. Наприклад, термін *відношення* в сфері ІТ практично не використовувався, на відміну від інших галузей. Це було пов'язано з тим, що більшість термінів, що використовувались на той час, були нечіткими і не могли застосовуватись для формальної теорії. Наприклад, якщо розглянути термін *запис*, то він застосовувався в різних контекстах (як *екземпляр запису*, як *тип запису*, як *логічний запис*, як *фізичний запис*, *запис що підлягав збереженню*, як *віртуальний запис* тощо). Через це в формальній реляційній моделі термін *запис* взагалі не використовується.

Основними поняттями реляційних баз даних є *тип даних, домен, атрибут, кортеж, первинний ключ і відношення* (рис. 12.2). Альтернативні варіанти термінів СКБД представлені в табл. 12.1.

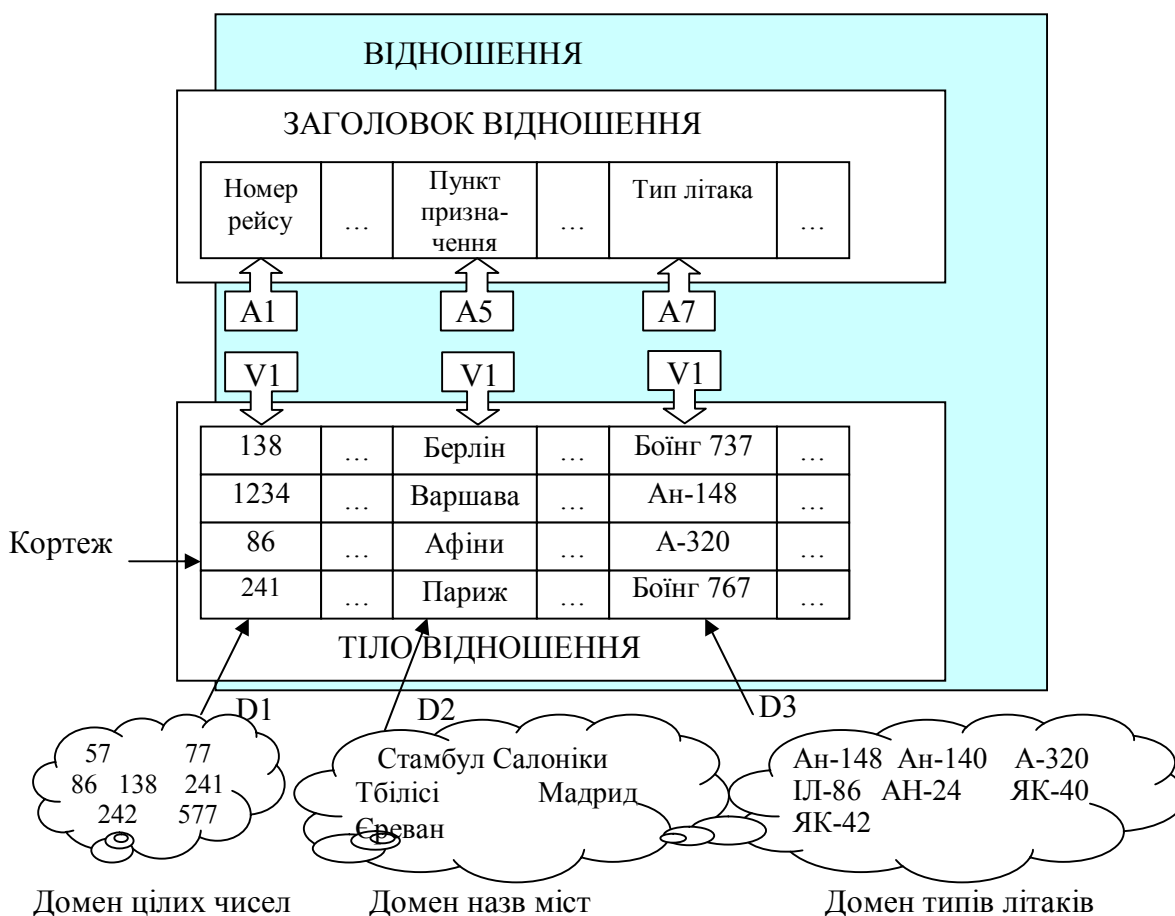


Рис. 12.2. Графічне відображення основних понять реляційних баз даних

Таблиця 12.1
Альтернативні варіанти термінів СКБД

Реляційні терміни	Табличний варіант	Файловий варіант	Об'єктна модель
Відношення	Таблиця	Файл	Клас
Кортеж	Рядок	Запис	Об'єкт
Атрибут	Стовпчик	Поле	Властивість

Тип даних. Поняття "тип даних" у реляційній моделі даних цілком адекватне поняттю типу даних в мовах програмування. Зазвичай у сучасних реляційних базах даних припускається збереження символічних, числових даних, бітових рядків, спеціалізованих числових даних (таких як "гроші"), а також спеціальних "темпоральних" даних (дата, час, часовий інтервал).

Домен – обмежена підмножина значень даного типу.

Домен характеризується такими властивостями:

- домен має *унікальне ім'я* (в межах бази даних);
- домен є визначеним на певному *простому* типі даних або на іншому домені;
- домен може мати певну *логічну умову*, яка дозволяє описати підмножину даних, припустимих для даного домену;
- домен має певне *змістове навантаження*.

Термін *кортеж* приблизно відповідає поняттю рядка, аналогічне поняттю відношення, що приблизно відповідає поняттю таблиці.

Кортеж визначається як окрема сутність.

Доменом є набір усіх можливих значень певного атрибута відношення.

Схема відношення є списком імен атрибутів.

Атрибут – це властивість, яка описує сутність. У структурі відношення кожний атрибут має назву і тип.

Реляційна модель передбачає організацію даних тільки у вигляді таблиць. Таблиця складається з рядків і стовпчик (рис. 12.3).

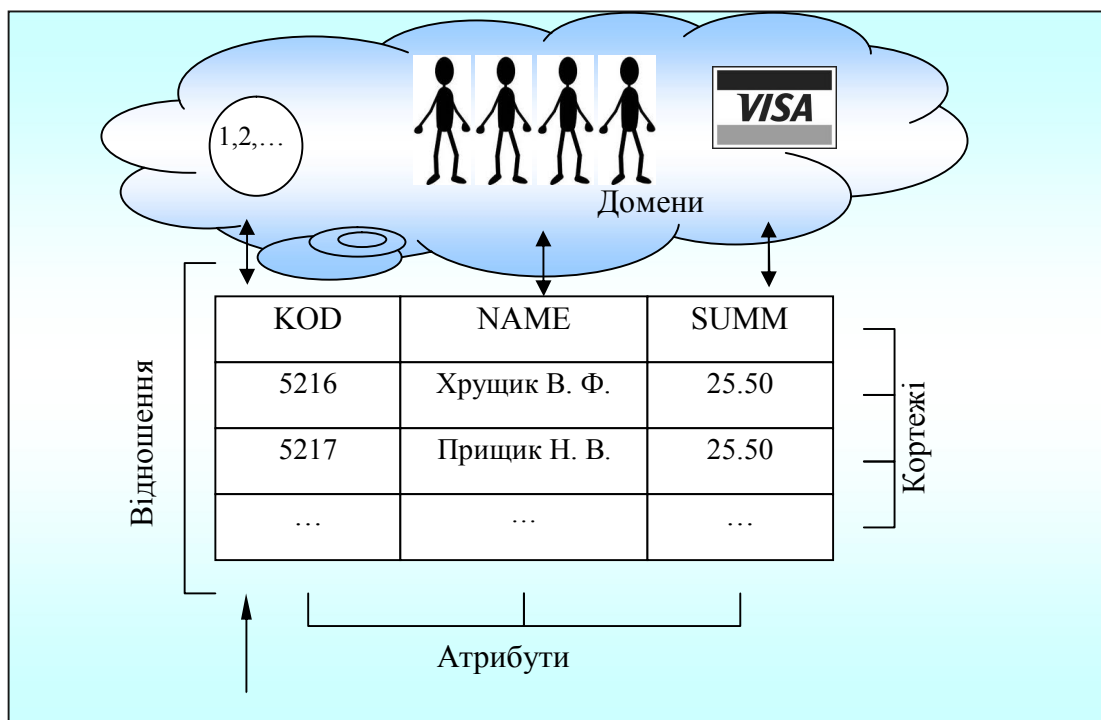


Рис. 12.3. Приклад табличної організації даних

Реляційна модель заснована на математичному понятті *відношення*, фізичним представленням якого є *таблиця*.

Будь-яка комп'ютерна реляційна модель, подана у вигляді таблиці, має такі властивості:

- 1 • Кожен елемент таблиці – це один неподільний елемент даних - запис
- 2 • Усі стовпці таблиці однорідні, тобто всі елементи в стовпці містять дані однакового типу і не перевищують визначеної довжини
- 3 • Кожен стовпець має унікальне ім'я
- 4 • Однакові рядки у таблиці відсутні
- 5 • Порядок розміщення рядків і стовпців може бути довільним

Рис. 12.3. Властивості реляційної моделі даних

Сутність – опис об'єкта, дані про який зберігаються в базі даних.

Сутність – це інформація, яку необхідно зберігати. Звідси випливає, що сутності (а значить, і зв'язки) мають певні властивості (properties), які відповідають тим даних про них, які необхідно зберігати в базі даних. Дані про сутність зберігаються у *відношенні*.

В загальному випадку властивості можуть бути як простими, так і складними, причому настільки простими або складними, наскільки це буде вимагатись потребами бази даних. Наприклад, властивість "місце-знаходження ділянки" – відносно проста: вона складається тільки з назви населеного пункту і може бути описана як простий символічний рядок. На противагу цьому сутність "ґрунт" може мати властивість "морфологічний опис" з достатньо складною структурою, що включає розчленування на генетичні горизонти, кольори і їх забарвлення, структуру тощо з відповідним текстовим описом.

К. Дейт⁴⁶ визначає три основні класи сутностей: *стрижневі*, *асоціативні* і *характеристичні*, а також підклас асоціативних сутностей – *позначення*.

⁴⁶Кристофер Дейт (Christopher J. Date) (1941 р.) – відомий фахівець у галузі баз даних, незалежний автор, лектор і консультант. Автор класичного посібника "Введення в системи баз даних", який як стандартний текст у системах баз даних використовується в багатьох університетах світу.

Стрижнева сутність (стрижень) – це незалежна сутність.

Асоціативна сутність (асоціація) – це зв'язок типу Б:Б між двома або більше сутностями чи екземплярами сутності.

Асоціації розглядаються як повноправні сутності, які або можуть брати участь в інших асоціаціях і позначатись аналогічно стрижневим сутностям, або мати не тільки набір ключових атрибутів, необхідних для вказівки зв'язків, але й будь-яку іншу кількість атрибутів, що характеризують зв'язок.

Характеристична сутність (характеристика) – це зв'язок типу Б:1 або 1:1 між двома сутностями (окремих випадок асоціації). Єдиною метою характеристики в рамках аналізованої предметної сфери є опис або уточнення деякої іншої сутності. Потреба у них виникає в зв'язку з тим, що сутності реального світу мають іноді багатозначні властивості. Наприклад, книга може мати декілька характеристик перевидання (доповнене, перероблене тощо).

В реляційній моделі даних до відношень пред'являються певні вимоги, які виражаються *в принципі інформаційної неподільності*: кожне значення відношення реляційної моделі може містити тільки одну порцію даних – *і принципі інформаційного кодування*: неприпустимо, щоб в значенні відношення реляційної моделі містилось більше однієї порції даних.

12.2. Ключі

Зв'язки між кортежами реалізуються у вигляді ключів – певним чином позначених атрибутів відношення.

Ключ – це стовпчик (або декілька стовпчик), що додається до таблиці і дозволяє встановити зв'язок із записами в іншій таблиці.

Існують ключі двох типів: *первинні* і *вторинні* (зовнішні).

Первинний ключ – це одне або кілька полів (стовпчик), комбінація значень яких однозначно визначає кожний запис у таблиці. Первинний ключ не допускає значень Null і завжди повинен мати унікальний індекс. Первинний ключ використовується для зв'язування таблиці з зовнішніми ключами в інших таблицях (рис. 12.4).

Зовнішній (вторинний) ключ – це одне або декілька полів (стовпчиків) у таблиці, що містять посилання на поле або поля первинного ключа в іншій таблиці. Зовнішній ключ визначає спосіб об'єднання таблиць.

З двох логічно пов'язаних таблиць одну називають *таблицею первинного ключа*, або *головною таблицею*, а іншу – *таблицею вторинного (зовнішнього) ключа*, або *підпорядкованою таблицею*.

**Таблиця
Themes PK**

Id_theme	Записи
1	
2	
3	
4	

**Таблиця
Posts PK FK**

Id_post	Записи	Id_theme
1		1
2		1
3		1
4		2

Рис. 12.4. Пов'язування таблиць ключем

СКБД дозволяють зіставити споріднені записи з обох таблиць і спільно вивести їх у формі, звіті або запиті.

Існує три типи первинних ключів: *ключові поля лічильника* (лічильник), *простий ключ* і *складовий ключ*.

Поле лічильника (тип даних "Лічильник"). Для кожного запису цього поля таблиці автоматично заноситься унікальне числове значення.

Простий ключ. Якщо поле містить унікальні значення, такі як коди чи інвентарні номери, то це поле можна визначити як первинний ключ. Як ключ можна визначити всі поля, що містять дані, якщо це поле не містить повторювані значення або значення *Null*.

Складові ключі. У випадках, коли неможливо гарантувати унікальність значень кожного поля, існує можливість створити ключ, що складається з декількох полів. Найчастіше така ситуація виникає для таблиці, використовуваної для зв'язування двох таблиць відношенням "*багато до багатьох*" (рис.12.5).

Необхідно ще раз відзначити, що в полі первинного ключа повинні бути тільки унікальні значення в кожному рядку таблиці, тобто збіг не допускається, а в полі вторинного або зовнішнього ключа збіг значень у рядках таблиці допускається.

Якщо виникають труднощі з вибором потрібного типу первинного ключа, то як ключ доцільно обрати поле лічильника.

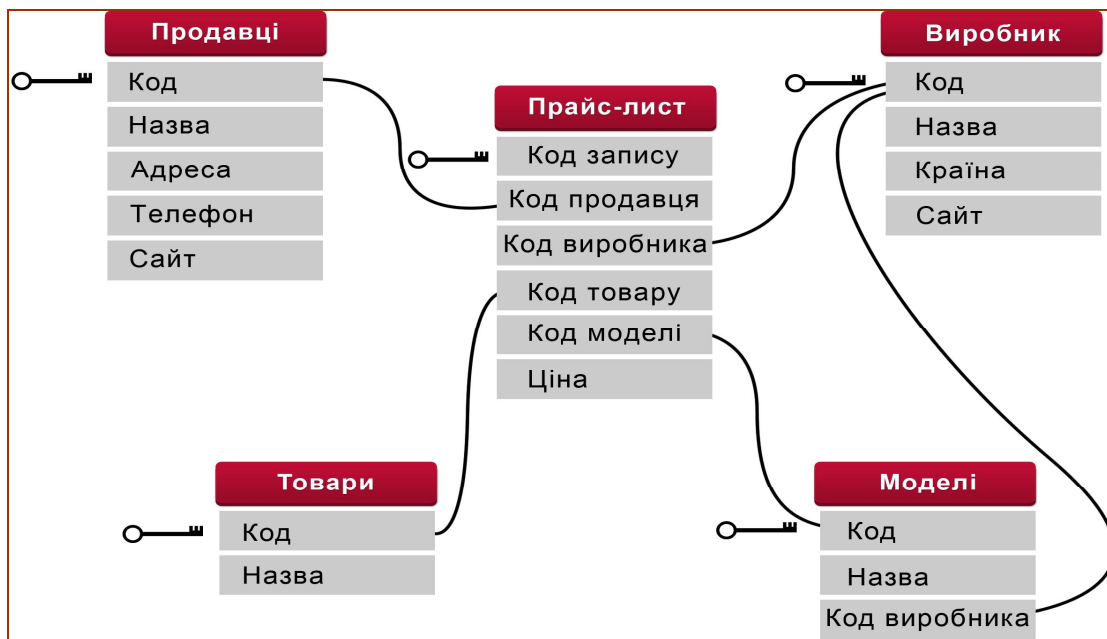


Рис. 12.5. Приклад складового ключа

12.3. Зв'язування відношень

Структура даних може бути описана формально. Опис глобальної логічної структури бази даних називається схемою. Схема визначає всі типи елементів даних, які зберігаються в базі даних, а також усі зв'язки між ними. Схема бази даних, як правило, дуже складна. Конкретний користувач або прикладний програміст не повинен знати схему в цілому. Така необізнаність часто навіть необхідна з точки зору безпеки даних. Програміст або користувач повинен бути інформований тільки про множину даних і зв'язків, які орієнтовані на його конкретну предметну сферу.

Частина схеми отримала назву *підсхеми*. По суті, підсхема – це певна організація файлів прикладного програміста. В функції СКБД входить побудова відповідних підсхем із загальної схеми і передача даних користувачам і системним програмістам. При цьому схема даних повинна бути спроектована таким чином, щоб з неї могли бути побудовані всі підсхеми за запитам користувачів або прикладних програм. Ні схема, ні підсхема не визначають методів фізичного зберігання даних.

Схеми і підсхеми подають у вигляді діаграм, на яких зображують типи елементів даних і зв'язки між ними. Розрізняють чотири види зв'язків:

- 1) *необов'язковий зв'язок*: існування об'єктів не залежить від зв'язку;
- 2) *можливий зв'язок*: існування одного з об'єктів залежить від зв'язку;
- 3) *умовний зв'язок*: частковий вид можливого зв'язку, коли задається умова існування (наприклад, зв'язок між об'єктами СТУДЕНТ, СТИПЕНДІЯ можливий за умови відповідної успішності);

4) *обов'язковий зв'язок*: існування обох об'єктів залежить від зв'язку.

Односторонні зв'язки між парами елементів називаються *асоціаціями*, а двосторонні – *відображеннями*.

Між двома сутностями А і В можливі чотири типи зв'язків:

1) **перший тип** – зв'язок ОДИН-ДО-ОДНОГО (1:1): за допомогою такого відображення подають такий тип зв'язку, коли в кожний момент часу кожний екземпляр елемента, від якого спрямовано зв'язок, ідентифікує один і тільки один екземпляр елемента, до якого спрямовано зв'язок, при цьому ця ідентифікація є унікальною в обох напрямках. Приклад відображення 1:1 наведено на рис. 12.5. Якщо відомо значення А, то однозначно визначається і значення В. І навпаки.

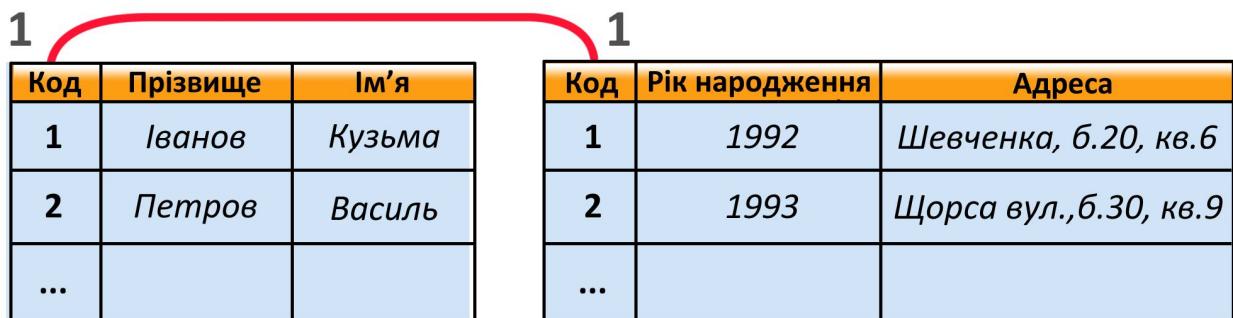
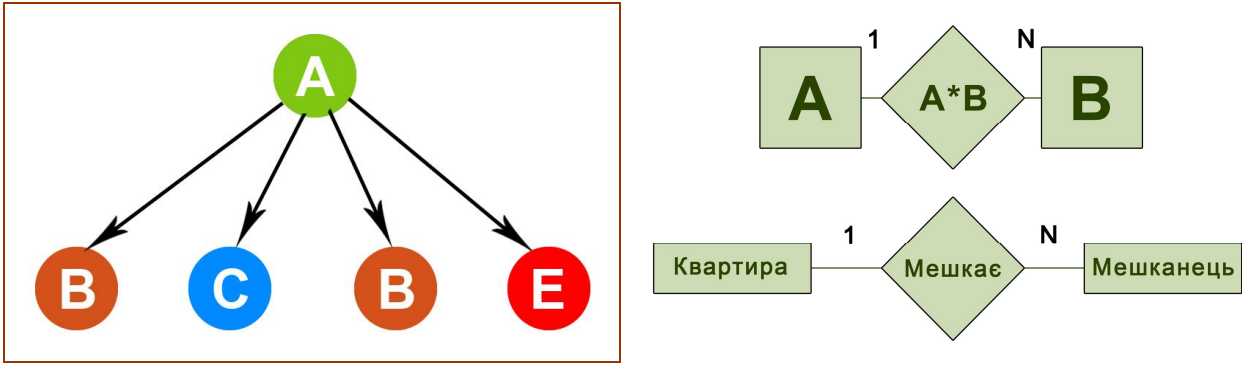


Рис. 12.5. Приклади відображення 1:1 ("один-до-одного")

2) **другий тип** – зв'язок ОДИН ДО БАГАТЬОХ (1:Б): якщо екземпляр елемента даних, від якого спрямований зв'язок, ідентифікує певну кількість екземплярів елементів даних, до яких спрямовано зв'язок, причому ідентифікація в даному напрямку не обов'язково є унікальною, то таке відображення називається ОДИН ДО БАГАТЬОХ (1:Б). Прикладом такого відношення (рис. 12.6) може бути БУДИНОК – МЕШКАНЦІ. Будинок може пустувати, в ньому може жити один або декілька мешканців.



*Рис. 12.6. Приклад відображення 1:Б
("один-до-багатьох")*

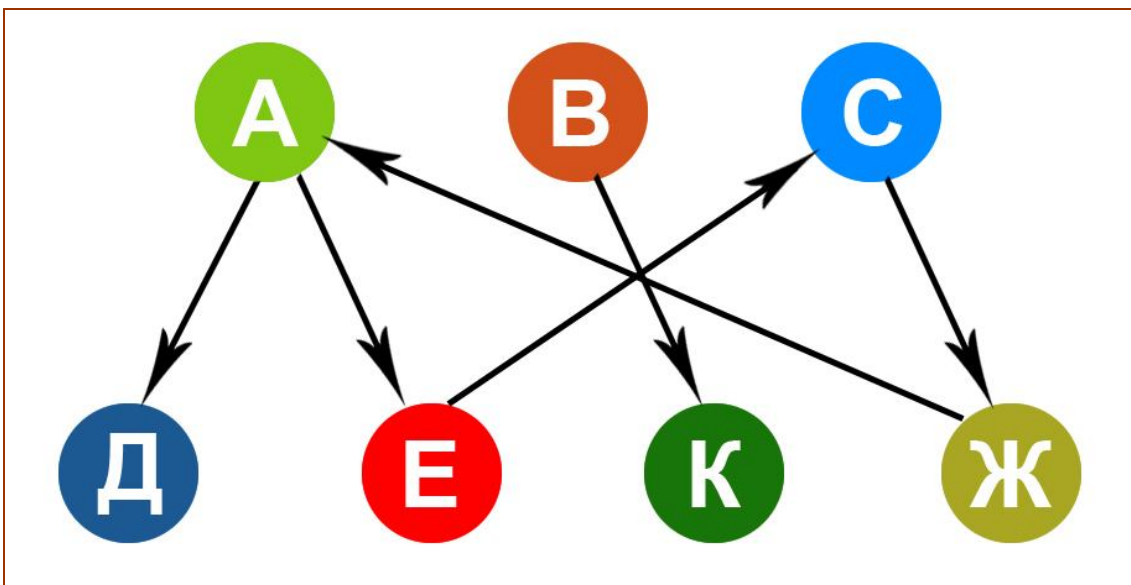
Оскільки між двома сутностями можливі зв'язки в обох напрямках, то існує ще **два типи зв'язків**:

3) БАГАТО ДО ОДНОГО (Б:1). Відображення Б:1 є аналогічним відображенням 1:Б;

4) БАГАТО ДО БАГАТЬОХ (Б:Б).

Якщо екземпляр елемента даних, від якого спрямовано зв'язок, ідентифікує певну кількість екземплярів елементів даних, до яких спрямовано зв'язок, і навпаки, тобто ідентифікація не є унікальною в обох напрямках, то таке відображення називається БАГАТО ДО БАГАТЬОХ (Б:Б).

Прикладом такого відношення (рис. 12.7) є відношення ВИКЛАДАЧІ – СТУДЕНТИ. Кожний студент "пов'язаний" з багатьма викладачами, і кожний викладач читає лекції різним групам студентів.



*Рис. 12.7. Приклад відображення Б:Б
("багато-до-багатьох")*

Характер зв'язків між сутностями не обмежується переліченими. Існують і більш складні зв'язки:

1) **множина зв'язків між одними й тими ж сутностями.** Наприклад, пацієнт, маючи одного лікаря, що лікує, може мати також декілька лікарів-консультантів; лікар може бути лікарем, що лікує декількох пацієнтів, та може одночасно консультувати декількох інших пацієнтів;

2) **тренарні зв'язки.** Наприклад, лікар може призначити декільком пацієнтам декілька аналізів, аналіз може бути призначений декількома лікарями декільком пацієнтам, й пацієнту може бути призначено декілька аналізів декількома лікарями;

3) **зв'язки більш високих порядків, семантика (зміст) яких іноді дуже складна.**

Існує три типи асоціацій:

- асоціація типу 1 (проста);
- асоціація типу М (складна);
- асоціація типу С (умовна).

В простій асоціації типу 1 (рис. 12.8) екземпляр елемента даних, від якого спрямовано зв'язок, ідентифікує один і лише один екземпляр елемента даних, до якого спрямовано зв'язок. Ця ідентифікація є унікальною й визначає функціональну залежність.

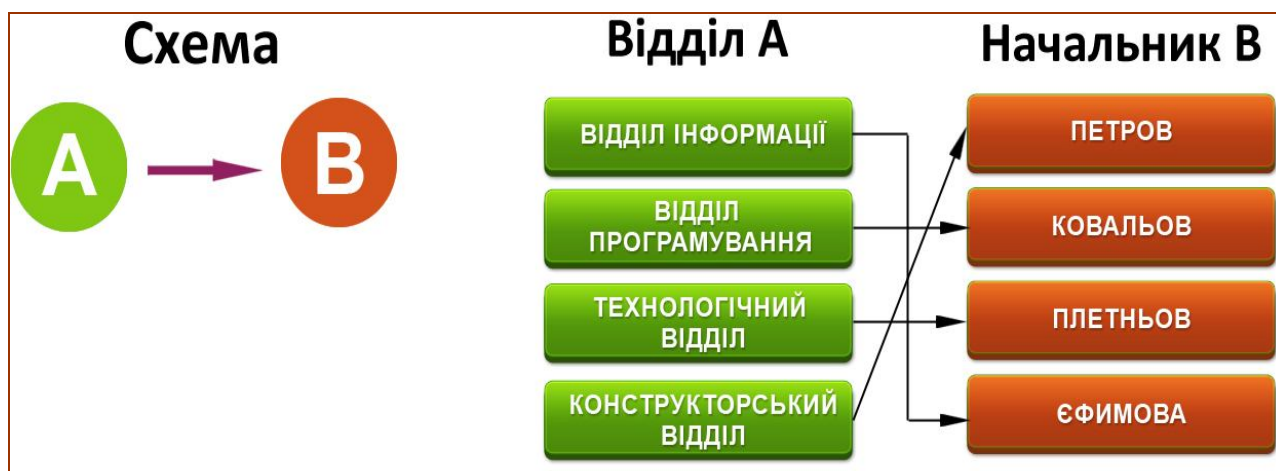


Рис. 12.8. Приклад простої асоціації типу 1

У складній асоціації типу М (рис. 12.9) екземпляр елемента даних, від якого спрямовано зв'язок, ідентифікує деяке число екземплярів елементів даних, до яких спрямовано зв'язок.

Ідентифікація є багатозначною залежністю і не обов'язково унікальною. При цьому зв'язок у зворотному напрямку не розглядається.

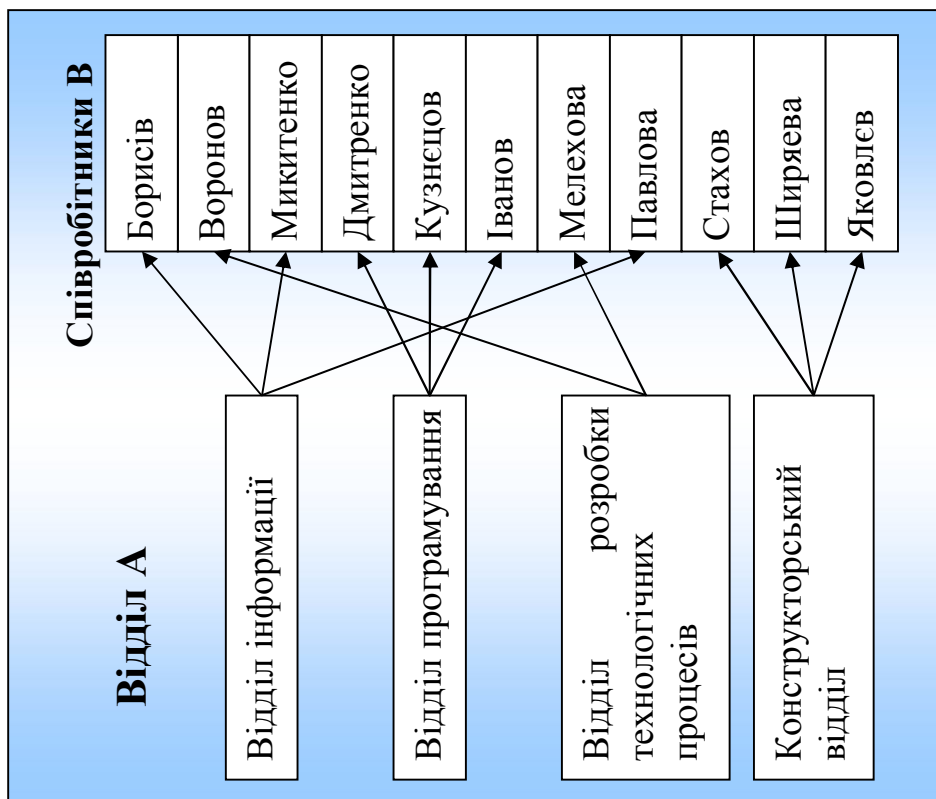


Рис. 12.9. Приклад складної асоціації типу М

В умовній асоціації типу С (рис. 12.10) для даного екземпляра елемента даних, від якого спрямовано зв'язок, може не існувати відповідного екземпляра елемента даних, до якого спрямовано зв'язок. Якщо він існує, то відноситься до єдиного екземпляра елемента даних. Наприклад, ПІБ РОБІТНИКА і ДАТА ЗВІЛЬНЕННЯ.

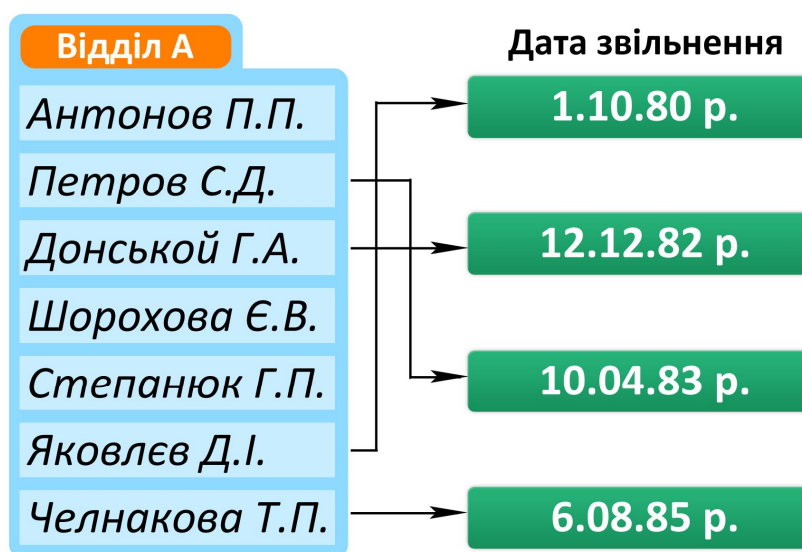


Рис. 12.10. Приклад умовної асоціації типу С

12.4. Реляційні операції

Реляційна модель даних заснована на застосуванні реляційної алгебри Едгара Кодда.

Реляційна алгебра – це теоретична мова операцій, яка дозволяє створювати на основі одного або декількох відношень інше відношення без зміни самих вихідних відношень. Оскільки обидва, операнд і результат, є відношеннями, то результати однієї операції можуть застосовуватись в іншій операції. Це дозволяє створювати вкладені вирази реляційної алгебри (за аналогією з тим, як створюються вкладені арифметичні вирази), але при будь-якій глибині вкладеності результатом є відношення. Така властивість називається *замкнутістю*. Вона підкреслює те, що застосування будь-якої кількості операцій реляційної алгебри до відношень не призводить до створення інших об'єктів, крім відношень, аналогічно тому, як результатами арифметичних операцій з числами є тільки числа.

Реляційна алгебра є мовою послідовного використання відношень, у якому всі кортежі, навіть взяті з різних відношень, обробляються однією командою, без організації циклів. Для команд реляційної алгебри запропоновано декілька варіантів синтаксису.

Існує декілька варіантів вибору операцій, які включаються в реляційну алгебру. Первісно Кодд запропонував вісім операцій, але згодом до них були додані ще декілька. П'ять основних операцій реляційної алгебри, а саме вибірка (selection), проекція (projection), декартовий добуток (cartesian product), об'єднання (union) і різниця множин (set difference), які виконують більшість дій з добування даних. На підставі п'яти основних операцій можна також винести додаткові операції, такі як операції з'єднання (join), перетинання (intersection) і ділення (division), які можуть бути виражені в термінах п'яти основних операцій (рис. 12.11, табл.12.1).

Реляційна алгебра Кодда має декілька недоліків [91]:

По-перше, вісім перерахованих операцій за охопленням своїх функцій, з одного боку, надлишкові, оскільки мінімально необхідний набір складають п'ять операцій: об'єднання, віднімання, твір, проекція і вибірка. Три інші операції (перетин, з'єднання і поділ) можна визначити через п'ять мінімально необхідних. Так, наприклад, з'єднання – це проекція вибірки.

По-друге, вісім перерахованих операцій за охопленням своїх функцій, з одного боку, надлишкові, оскільки мінімально необхідний набір складають п'ять операцій: об'єднання, віднімання, добуток, проекція і вибірка. Три інші операції (перетин, з'єднання і ділення) можна визначити через п'ять мінімально необхідних. Так, наприклад, з'єднання – це проекція вибірки добутку.

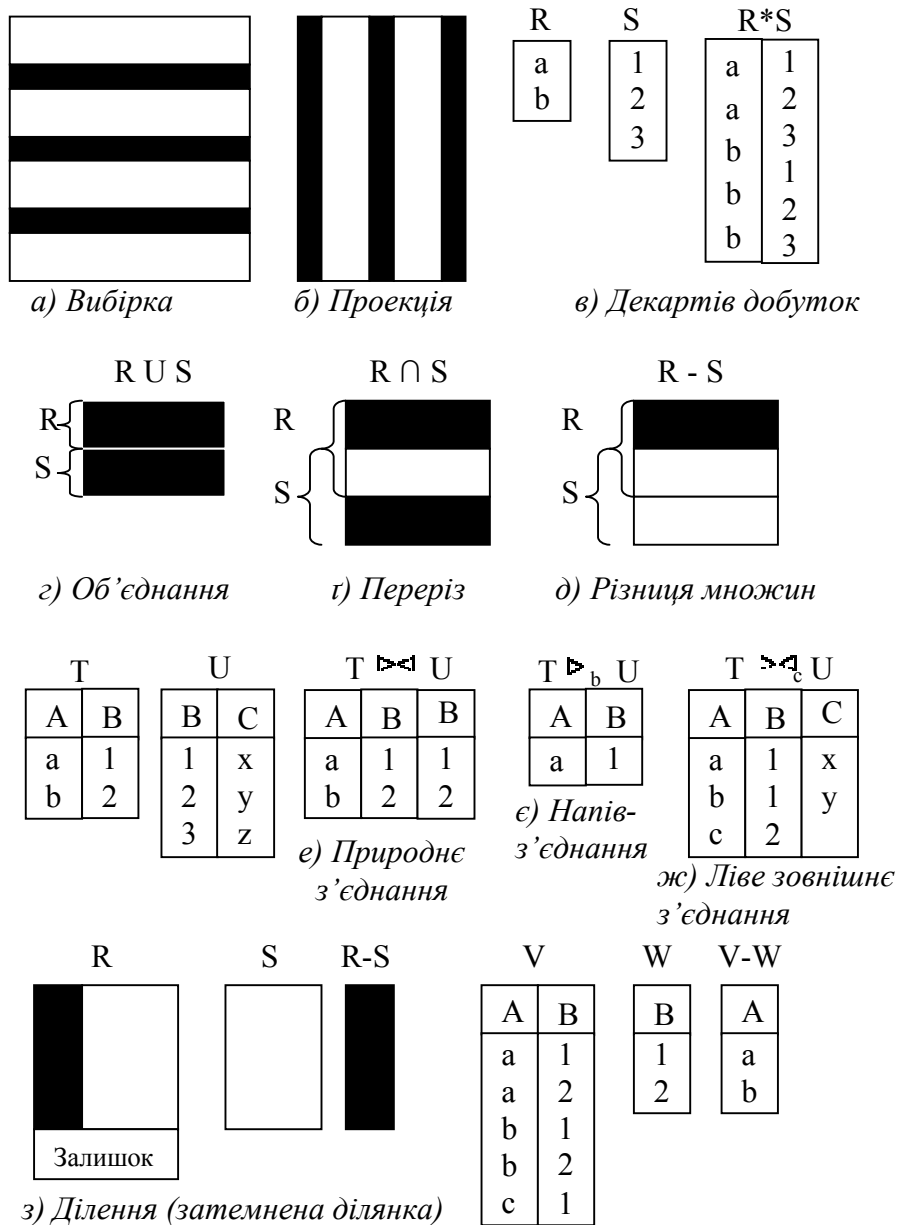


Рис. 12.11. Найпростіші операції над множинами

Таблиця 12.1

Основні операції над множинами

Операція	Позначення	Сфера застосування
1	2	3
Вибірка	$\sigma_{\text{предикат}}(R)$	Визначає результуюче відношення, яке містить тільки ті кортежі (рядки) з відношення R, що задовольняють задану умову (предикат)

1	2	3
Проекція	$\Pi_{a_1, a_2, \dots, a_n}(R)$	Визначає нове відношення, що містить вертикальну підмножину відношення R , яка створюється за допомогою витягання значень зазначених атрибутів і виключення з результату рядків-дублікатів
Декартів добуток	$R \times S$	Визначає нове відношення, яке є результатом конкатенації (зчеплення) кожного кортежу з відношення R з кожним кортежем з відношення S
Об'єднання	$R \cup S$	Визначає нове відношення, що містить усі кортежі, що містились тільки в R , тільки в S , одночасно в R і S , причому всі дублікати кортежів виключені. При цьому відношення R і S повинні бути сумісними по об'єднанню
Перетин	$R \cap S$	Визначає відношення, що містить кортежі, які присутні як у відношенні R , так і в відношенні S . Відношення R і S повинні бути сумісними по об'єднанню
Різниця	$R - S$	Різниця двох відношень R і S складається з кортежів, які є у відношенні R , але відсутні у відношенні S . При цьому відношення R і S повинні бути сумісними по об'єднанню
Тета-з'єднання	$R \bowtie_F S$	Визначає відношення, що містить кортежі з декартового добутку відношень R і S , які задовольняють предикат F
З'єднання по еквівалентності	$R \bowtie_{\neq} S$	Визначає відношення, яке містить кортежі з декартового добутку відношень R і S , що задовольняють предикат F (предикат повинен передбачати тільки порівняння на рівність)
Природне з'єднання	$R \bowtie S$	Природним з'єднанням називається з'єднання по еквівалентності двох відношень R і S , виконане по усіх загальних атрибутах x , з результатів якого виключається по одному екземпляру кожного загального атрибута

1	2	3
(Ліве) зовнішнє з'єднання	$R \supset \leftarrow S$	З'єднання, при якому кортежі відношення R , які не мають співпадінь значень в загальних стовпчиках відношення S , також включаються в результуюче відношення
Напівз'єднання	$R \triangleright_F S$	Визначає відношення, що містить ті кортежі відношення R , які входять у з'єднання відношень R і S
Ділення	$R \div S$	Визначає відношення, що складається з множини кортежів відношення R , які визначені на атрибуті C , який відповідає комбінації всіх кортежів відношення S , де C – множина атрибутів, які є у відношенні R , проте відсутні у відношенні S

По-друге, цих восьми операцій недостатньо для побудови реальної СКБД на принципах реляційної алгебри. Необхідні розширення, що включають операції: перейменування атрибутів, утворення нових атрибутів, що обчислюються, обчислення підсумкових функцій, побудова складних алгебраїчних виразів, присвоєння, порівняння тощо.

Операції вибірки і проєкції є *унарними*, оскільки працюють з одним відношенням. Інші операції працюють з парами відношень, і тому їх називають *бінарними операціями*. В наведених нижче визначеннях R і S це два відношення, що визначені на атрибутах $A = (a_1, a_2, \dots, a_N)$ і $B = (b_1, b_2, \dots, b_M)$ відповідно.

За допомогою цих операцій можна будувати більш складні операції, які отримали назву об'єднань, що в мові структурованих запитів SQL реалізуються за допомогою інструкції SELECT. Результатом операції над відношенням є представлення, яке не зберігається в базі даних, протягом певного часу є доступним для читання.

Перераховані вище реляційні операції окремо застосовуються рідко, однак їх комбінації дозволяють одержувати вибірки даних практично будь-якої складності.

12.5. Правила Кодда

Для визначення того, чи є база даних реляційною чи ні, Едгар Кодд розробив дванадцять правил. Якщо база даних задовольняє всі ці правила, то її з упевненістю можна назвати реляційною.

Перше правило Кодда – дані в відношеннях повинні мати явне представлення. Це правило свідчить про те, що в реляційній базі даних повинен виконуватись принцип інформаційної неподільності.

Друге правило Кодда – до даних повинен бути забезпечений гарантований доступ. У цьому разі в будь-якій реляційній базі даних користувач, знаючи ім'я відношення, значення первинного ключа та ім'я атрибута, повинен отримати доступ до необхідних даних.

Третє правило Кодда – в реляційній базі даних повинна бути реалізована обробка невизначених значень. Це положення говорить про те, що в реляційних базах даних для всіх типів даних повинна підтримуватись робота з невизначеними значеннями NULL.

Четверте правило Кодда – опис бази даних повинен здійснюватись у термінах реляційної моделі. Це правило висуває додаткову вимогу до опису бази даних, яка повинна зберігатись у вигляді окремих зв'язаних між собою відношень, а доступ до його вмісту повинен здійснюватись за допомогою описаних вище реляційних операцій.

П'яте правило Кодда – в реляційній базі даних повинна бути забезпечена повнота підмножини мови. При цьому мова маніпулювання даними і мова визначення даних повинні бути необхідними і достатніми засобами роботи з даними.

Шосте правило Кодда – реляційна база даних повинна підтримувати оновлення представлень. У цьому разі створені за допомогою реляційних операцій представлення при зміні даних у вихідних відношеннях повинні також оновлюватися.

Сьоме правило Кодда – в реляційній базі даних для маніпулювання даними повинна використовуватись високорівнева мова. Синтаксис операцій, що застосовуються до відношення в цілому або до кортежів зокрема, повинен бути зрозумілим будь-якому користувачеві.

Восьме правило Кодда – в реляційній базі даних повинна бути забезпечена фізична незалежність даних. Виконання цього правила приводить базу даних у відповідність моделі ANSI/SPARC, в якій прикладні програми не повинні залежати від особливостей представлення даних на фізичному рівні.

Дев'яте правило Кодда – в реляційній базі даних повинна бути реалізована логічна незалежність даних. Це правило свідчить про те, що додаток реляційних баз даних не повинен залежати від логічних обмежень, що накладаються на відношення.

Десяте правило Кодда – в реляційній базі даних повинна бути забезпечена незалежність контролю цілісності. Дотримання цього правила призводить до необхідності зберігання засобів підтримки цілісності даних, таких як обмеження на первинні і зовнішні ключі, межі допустимого діапазону значень даних в окремих відносинах бази даних.

Одинадцятье правило Кодда – реляційна база даних повинна мати дистрибутивну незалежність даних. У цьому разі до бази даних висувається вимога можливості перенесення на інші платформи і здатність до поширення, в тому числі в локальних та глобальних мережах.

Дванадцяте правило Кодда – реляційна база даних повинна забезпечувати узгодження мовних рівнів. Це правило Кодда головним чином спрямовано на узгодження виконання низькорівневих операцій, таких як резервне копіювання й архівація даних, та високорівневих операцій, наприклад, вибірка даних, розділення прав користувачів і привілеїв доступу.

Правила Кодда виступають переважно теоретичними вимогами, що висуваються до побудови реляційних баз даних. На практиці жодна база даних повною мірою не реалізує реляційну модель. Розробники баз даних керуються принципом розумної достатності, розробляючи систему, яка не суперечить необхідним вимогам реляційних баз даних і відповідає достатнім вимогам замовника.

12.6. Нормалізація реляційних баз даних

Після статті, присвяченої реляційній алгебрі, Едгар Кодд у 1972 р. опублікував працю під назвою "Подальша нормалізація реляційної моделі баз даних", у якій ввів термін "*нормалізація*" і сформулював три нормальні форми.

Нормалізація – це метод організації реляційної бази даних з метою скорочення надлишковості.

При розробці і проектуванні будь-якої реляційної бази даних однією з перших розв'язується задача нормалізації її відношень, причому цей процес є ітераційним і полягає в послідовному переведенні відношень з першої нормальної форми в нормальні форми більш високого ступеня за певними правилами. Кожна наступна нормальна форма обмежує функціональну залежність відношень при збереженні властивостей попередніх нормальних форм.

Нормалізація дозволяє повною мірою реалізувати переваги реляційної моделі, змушує розробника створювати більшу кількість відношень, рівномірніше розподіляючи в них інформацію, що приводить до зниження надлишковості і підвищення цілісності даних.

Усього виділяють п'ять нормальних форм.

12.6.1. Перша нормальна форма

Перше правило реляційної моделі полягає в тому, що жоден стовпчик не повинен містити два або більше значень.

Відношення представлено в першій нормальній формі (1НФ) тоді і тільки тоді, коли всі його атрибути є простими, тобто містять тільки неподільні порції даних.

Наведемо приклад перетворення відношення на першу нормальну форму, використовуючи таблицю, в якій зберігаються дані про персональні комп'ютери (рис. 12.11).

information	price	speed	quantity	total
\$600 500 10 \$6000	600	500	10	6000
\$850 750 5 \$4250	850	750	5	4250
\$700 500 3 \$2100	700	500	3	2100
\$450 600 8 \$3600	450	600	8	3600
\$670 600 10 \$6700	670	600	18	6700

Рис. 12.11. Перетворення відношення на першу нормальну форму

Як видно з рис. 12.11 усі дані про комп'ютери, що містяться у вихідному відношенні, розбиті на чотири прості атрибути, які містять неподільні порції даних.

Приведення відношень до першої нормальної форми спрощує розробку запитів і створення представлень, однак не виключає дублювання даних, що призводить до втрати цілісності і збільшення об'єму займаної пам'яті. Для вирішення цих проблем необхідно використовувати другу нормальну форму.

12.6.2. Друга нормальна форма

Для проведення подальшої нормалізації відношень необхідно використовувати поняття первинного ключа, оскільки друга нормальна форма вимагає, щоб усі атрибути залежали від первинного ключа.

Відношення представлено в другій нормальній формі (2НФ) тоді і тільки тоді, коли воно представлено в першій нормальній формі і кожний неключовий атрибут повністю визначається первинним ключем (рис. 12.12).

price	speed	quanti	total
600	500	10	6000
850	750	5	4250
700	500	3	2100
450	600	8	3600
670	600	18	6700

2НФ →

model	price	speed	quanti	total
1234	600	500	10	6000
1456	850	750	5	4250
1333	700	500	3	2100
1782	450	600	8	3600
1121	670	600	18	

Рис. 12.12. Перетворення відношення на другу нормальну форму

Надлишковість першої нормальної форми може слугувати причиною виникнення аномалій вставки і видалення. Аномалії вставки виникають тоді, коли дані неможливо додати в відношення доти, поки вони неповні, або для цього буде потрібний додатковий перегляд відношення. Наприклад, немає сенсу зберігати абстрактну інформацію про комп'ютери, якщо вона не відповідає певній моделі.

Застосування другої нормальної форми дозволяє усунути аномалії вставки і видалення.

12.6.3. Третя нормальна форма

Застосування першої і другої нормальних форм дозволяє позбутися явного дублювання даних, однак неявне дублювання даних все ж таки має місце. Вирішити цю проблему допомагає використання третьої нормальної форми (рис. 12.13).

Відношення представлено в третій нормальній формі (ЗНФ) тоді і тільки тоді, коли воно представлено в другій нормальній формі і всі неключові атрибути відношення взаємно незалежні та цілком залежать від первинного ключа.

Якщо у відношенні є залежність атрибутів складного ключа від неключових атрибутів, то необхідно перейти до посиленої третьої нормальної форми, яка називається *нормальна форма Бойса–Кодда*.

model	price	speed	quanti	total
1234	600	500	10	6000
1456	850	750	5	4250
1333	700	500	3	2100
1782	450	600	8	3600
1121	670	600	18	6700

ЗНФ
→

model	price	speed	quanti
1234	600	500	10
1456	850	750	5
1333	700	500	3
1782	450	600	8
1121	670	600	18

Рис. 12.13. Перетворення відношення на третю нормальну форму

Відношення представлено в нормальній формі Бойса–Кодда (БКНФ) тоді і тільки тоді, коли воно знаходиться в третій нормальній формі і в ньому відсутні залежності атрибутів складеного ключа від неключових атрибутів.

Приведення відношень у третю нормальну форму є достатньою умовою для розв'язку практичних задач і на цьому в більшості випадків процес проектування реляційної бази даних закінчується.

12.6.4. Четверта нормальна форма

В деяких випадках у відношеннях з'являється багатозначна залежність даних, яка полягає в залежності атрибутів складеного ключа. Видалення або додавання кортежем призводить до обробки всім кортежем відношення, що веде до надлишковості. Для виключення багатозначних залежностей необхідно використовувати четверту нормальну форму.

Відношення представлено в четвертій нормальній формі (4НФ) тоді і тільки тоді, коли воно знаходиться в нормальній формі Бойса–Кодда й існує багатозначна залежність первинного ключа від іншого атрибута, а решта атрибутів функціонально залежать від первинного ключа.

12.6.5. П'ята нормальна форма

Результатом нормалізації всіх попередніх операцій були два нові відношення. Іноді це виконати не вдається або отримувані відношення явно мають небажані властивості. В цьому разі виконують декомпозицію вихідного відношення на відношення, кількість яких перевищує два. Однак така декомпозиція не повинна приводити до втрати даних і появи додаткових фіктивних кортежів. Саме для цього і розроблена п'ята нормальна форма.

Відношення знаходиться в п'ятій нормальній формі (5НФ) тоді і тільки тоді, коли воно представлено в четвертій нормальній формі і не містить залежностей з'єднання.

Треба відзначити, що глибоке розуміння процесів, що відбуваються при перетворенні на четверту і п'яту нормальні форми, вимагає залучення математичного апарата теорії множин. В цілому ж потрібно відзначити, що четверта і п'ята нормальні форми становлять більше теоретичний інтерес, ніж практичний.

12.7. Денормалізація баз даних

При проектуванні бази даних, яка задовольняє всі нормальні форми, з'являється надлишок відношень, оскільки перехід до чергової нормальної форми призводить до розділу відношень. При цьому усувається надлишковість даних, однак з'являється надлишок внутрішніх зв'язків між відношеннями. Крім того, виникають додаткові витрати на виконання операцій об'єднання, що істотно впливає на продуктивність.

Усунення надлишковості не обов'язково означає підвищення продуктивності. Накладні витрати на виконання операцій об'єднання суттєві, тому розробники іноді свідомо йдуть на порушення правил нормалізації.

Процес порушення нормальних форм називається денормалізацією.

Денормалізація викликана декількома причинами, основними з яких є час виконання запитів, час проведення оновлень, загальний об'єм сховища даних, аномалії видалення, що викликають втрату цілісності даних.

12.8. Переваги та недоліки реляційного підходу у створенні баз даних

Реляційний підхід є найбільш поширеним у даний час, хоча поряд із загальноновизнаними перевагами має і багато недоліків. До переваг реляційного підходу можна віднести:

- наявність невеликого набору абстракцій, які дозволяють порівняно просто моделювати значну частину найбільш поширених предметних сфер і припускають точні формальні визначення, залишаючись при цьому інтуїтивно зрозумілими;

- наявність простого й одночасно потужного математичного апарату, що спирається головним чином на теорію множин і математичну логіку та забезпечує теоретичний базис реляційного підходу до організації баз даних;

- можливість ненавігаційного маніпулювання даними без необхідності знання конкретної фізичної організації баз даних у зовнішній пам'яті.

В даний час основним предметом критики реляційних СКБД є не їхня недостатня ефективність, а властива їм деяка обмеженість (прямий наслідок простоти) при використанні в галузях, у яких вимагаються гранично складні структури даних (наприклад, САПР). Ще одним часто відмічуваним недоліком реляційних баз даних є неможливість адекватного відображення семантики предметної сфери. Інакше кажучи, можливості представлення знань про семантичну специфіку предметної сфери в реляційних системах дуже обмежені. Сучасні дослідження у сфері постреляційних систем головним чином присвячені саме усуненню цих недоліків.

ХІІІ. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БАЗ ДАНИХ

13.1. Паралельні обчислення

Сьогодні паралельні обчислення є надзвичайно популярними, наприклад як для інтернет-магазинів, так і для бухгалтерських багатокористувацьких систем. Сутність роботи таких полягає в наступному. Певний вид товару надходить на склад підприємства, після чого він продається покупцеві, причому продаж не повинен відбутись раніше від надходження і один і той же товар не повинен бути проданим різним покупцям. Такий процес називається паралелізмом. Від успішності реалізації паралельних обчислень залежить ефективність роботи системи в цілому.

Паралелізм є доволі складною проблемою для СКБД, які повинні справлятися не тільки з численними запитами на підключення, а й планувати одночасний доступ до даних. Для розв'язку таких задач використовуються *транзакції*.

13.1.1. Поняття транзакції

Транзакцією називається послідовність операцій, що здійснюються над базою даних і які переводять базу даних з одного несуперечливого стану в інший несуперечливий стан.

В кінці транзакції відбувається або її відміна, або завершення. *Відміна транзакції називається відкатом, завершення транзакції називається фіксацією.*

Транзакція повинна мати властивості, які представлені на рис. 13.1.

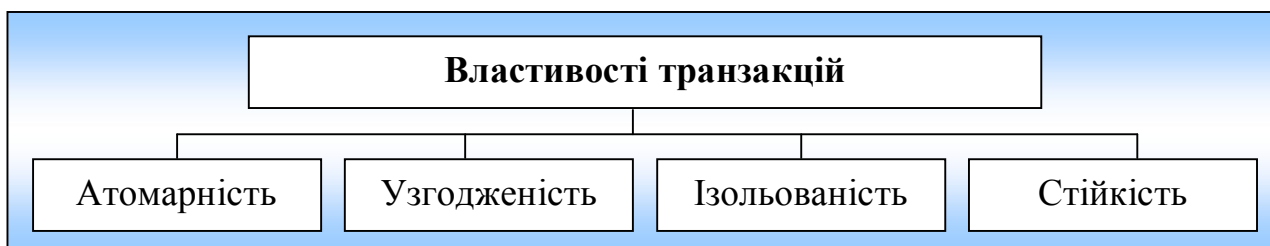


Рис. 13.1. Властивості транзакції

Атомарність означає дотримання принципу неподільності транзакцій. Даний принцип полягає в тому, що всі інструкції, що складають транзакцію, обов'язково виконуються, інакше не виконується жодна з них. Будь-яких проміжних станів не існує.

Атрибут є атомарним, якщо його значення втрачає зміст при будь-якому розбитті на частини або перевпорядкуванні. І навпаки, якщо будь-який спосіб розбивки на частини не позбавляє атрибут сенсу, то атрибут є неатомарним. Одне й те ж значення може бути атомарним або неатомарним залежно від змісту цього значення.

Узгодженість гарантує, що у міру виконання транзакції дані переходять з одного узгодженого стану в інший, при цьому не порушується взаємна узгодженість даних у БД.

Ізоляція полягає в організації послідовної обробки транзакцій при доступі до бази даних, при цьому в користувача виникає враження, що всі транзакції виконуються паралельно.

Стійкість означає, що при успішному завершенні транзакції в БД вносяться постійні, невідмінювані зміни. БД, що підтримує виконання стійких транзакцій, здатна витримати раптову аварію, наприклад, збій живлення, і при цьому залишатися узгодженою.

Транзакції реалізуються шляхом ведення журналу всіх змін, що вносяться в базу даних у ході виконання кожної транзакції. За журналом можна відновити узгоджений стан БД у випадку збою.

Існує декілька видів збою, класифікацію яких наведено на рис. 13.2.

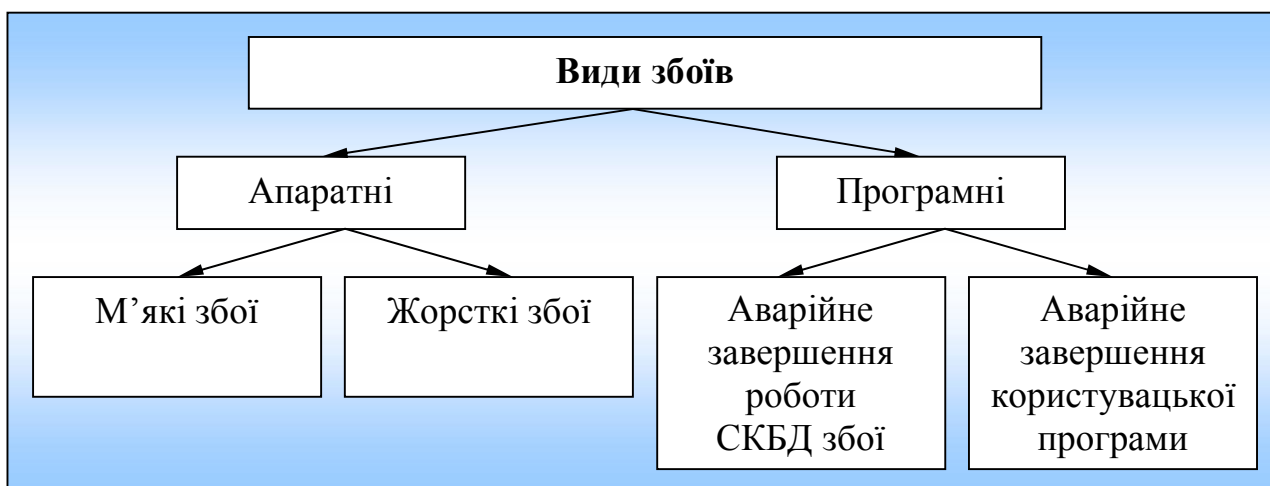


Рис. 13.2. Класифікація видів збою баз даних

Виділяють два види апаратних збоїв. М'які збої виникають при раптовій зупинці роботи комп'ютера, наприклад, при аварійному вимкненні живлення. Жорсткі збої проявляють себе при виході комп'ютера з ладу і спричиняють втрату інформації на носіях зовнішньої пам'яті.

Серед програмних видів збоїв треба відзначити аварійне завершення роботи СКБД і аварійне завершення користувачької програми, в результаті чого певна транзакція залишається незавершеною і потрібно ліквідувати її наслідки.

Підтримка надійності збереження даних є пріоритетним завданням роботи СКБД. Для цього в БД необхідно зберігати надлишкову інформацію для відновлення, причому ця інформація повинна зберігатись дуже надійно. Найбільш поширеним методом підтримки такої надлишковості є ведення журналу змін БД.

Журналом транзакцій називається механізм збереження проміжних станів, підтвердження або відкату транзакції, що реалізується в СКБД.

У багатьох випадках дотримуються стратегії "упереджувального" запису в журнал транзакцій (так званого протоколу Write Ahead Log – WAL), який полягає в тому, що запис про зміну будь-якого об'єкта БД повинен потрапити до зовнішньої пам'яті журналу раніше, ніж змінений об'єкт потрапить до зовнішньої пам'яті основної частини БД.

Треба відзначити, що використання транзакції при оптимізації БД знижує продуктивність роботи, однак підвищує цілісність БД. Відсутність транзакцій приводить до істотного зростання продуктивності, проте страждає цілісність. Компроміс полягає в тому, що існують проміжні варіанти, які називаються рівнями ізоляції транзакцій, що дозволяють знайти компроміс між цими двома суперечливими вимогами.

13.1.2. Рівні ізоляції

Прийнято виділяти чотири рівні виконання транзакцій: рівень серіалізації транзакцій (SERIALIZABLE), рівень достовірного читання (REPEATABLE READ), рівень підтвердженого читання (READ COMMITTED), рівень непідтвердженого читання (READ UNCOMMITTED).

Найвищий рівень виконання транзакцій спрямований на збереження цілісності даних і розв'язок проблем, пов'язаних з появою проміжних даних, неузгоджених даних і рядків-примар, а найнижчий рівень націлений лише на підвищення швидкості виконання запитів.

Проміжні дані з'являються тоді, коли незавершена транзакція модифікує кортеж відношення, а інша транзакція зчитує цей кортеж. Якщо перша транзакція буде відмінена, то виявиться, що друга транзакція отримала дані, які ніколи не існували. Така ситуація з'являється на рівні непідтвердженого читання.

На рівні підтвердженого читання транзакції можуть читати тільки підтвержені дані. Однак це не вирішує проблему неузгоджених даних.

Наприклад, у ході транзакції виконується запит, який визначає середнє значення за певним числовим атрибутом відношення. По завершенні цього запиту інша транзакція, що працює з тим же відношенням, видаляє або додає кортежі. Якщо перша транзакція буде повторно виконувати свій запит, то вона отримає інші результати.

Проблема неузгоджених даних розв'язується на рівні достовірного читання. В цьому режимі кортежі, до яких транзакція звертається для читання або запису, блокуються. В даному разі виникає проблема, пов'язана з появою кортежів-примар.

Транзакція може заблокувати всі кортежі, з якими ведеться робота, проте вона не може завадити іншій транзакції додати кортеж в той же час відношення. Якщо в ході транзакції вводяться два запити на вибірку, а між ними друга транзакція додає в відношення новий кортеж, то цей кортеж стане "примарою", оскільки вона з'являється в ході однієї і тієї ж транзакції.

На рівні серіалізації транзакції примусово виконуються одна за одною в порядку пріоритету. Якщо дві транзакції будуть прагнути оновити один і той же кортеж, то одна з транзакцій буде оголошена такою, що прогнала в тупиковій ситуації і відмінена.

На будь-якому рівні нижче рівня серіалізації з'являється ризик порушення цілісності даних. Однак, якщо в рамках поставлених завдань потрібно збільшити швидкість виконання запитів, то цілісність даних відходить на другий план і можна застосовувати один з трьох інших рівнів виконання транзакцій.

13.1.3. Виконання транзакцій

Багато СКБД за замовчуванням працюють у режимі автоматичного завершення транзакцій. В цьому разі кожен запит є самостійною транзакцією, яка після отримання результатів запиту негайно завершується.

Однак для забезпечення одночасного доступу до даних використовуються механізми блокування БД. СКБД може блокувати, в разі потреби, відносини цілком, кортежі, атрибути або сторінки, які є довільним блоком даних, пов'язаних з відношенням.

Також для виконання транзакцій у деяких СКБД використовується механізм складання послідовності виконання транзакцій, що являє собою лічильник для створення унікальних числових ідентифікаторів. У цьому разі в БД жодні потоки виконання транзакцій не отримують однакові ідентифікатори, отже, не завадять роботі один одного.

Проектувальники БД можуть створювати послідовності і самі за допомогою первинних ключів з автоматичним збільшенням значення при додаванні кортежу.

13.2. Обробка транзакцій

Відслідковувати рівень виконання транзакції розробнику необхідно при проектуванні спеціалізованої БД, у більшості ж інших випадків доцільно використовувати вже готові і пророблені системи обробки транзакцій, наприклад, OLTP-системи, OLAP-системи або монітори транзакцій.

13.2.1. OLTP-системи

У разі використання в БД сильно нормалізованих моделей даних прийнято застосовувати так звані OLTP-додатки (On-Line Transaction Processing – оперативна обробка транзакцій).

Основною функцією таких систем є виконання більшої кількості коротких транзакцій, при цьому транзакції виглядають відносно просто, наприклад, операція читання або запису, і час очікування запитів не перевищує декілька секунд.

Однак OLTP-системи мають низку недоліків. У таких системах транзакцій дуже багато, виконуються вони одночасно, і в разі помилки транзакція повинна повністю відкотитись.

Практично всі запити до БД в OLTP-додатках складаються з команд вставки, оновлення та видалення. Запити на вибірку головним чином призначені для надання користувачам можливості вибору даних з різних відношень. При цьому більша частина запитів відома заздалегідь ще на етапі проектування системи. Таким чином, критичними для OLTP-додатків є швидкість і надійність виконання коротких операцій оновлення даних. OLTP-системи вимагають захисту від несанкціонованого доступу, порушення цілісності, апаратних і програмних збоїв.

13.2.2. OLAP-системи

В БД, що використовують принципи побудови систем підтримки прийняття рішень, сховищ даних, систем інтелектуального аналізу даних, застосовуються OLAP-додатки (On-Line Analytical Processing – оперативна аналітична обробка даних).

Такі системи характеризуються такими ознаками. Додавання даних відбувається рідко і головним чином великими блоками. Дані, додані в систему, зазвичай ніколи не видаляються. В таких системах перед завантаженням дані проходять різні процедури обробки. Запити до бази даних є достатньо складними. При цьому швидкість виконання запитів є важливою, але не критичною.

Дані OLAP-додатків зазвичай представлені у вигляді одного або декількох гіперкубів і використовують багатомірні моделі даних. Оперативність обробки великих об'ємів даних в OLAP досягається за рахунок застосування потужної багатопроесорної обчислювальної техніки, складних методів аналізу і спеціальних сховищ даних, що накопичують інформацію з різних джерел за великий період часу та забезпечують швидкий доступ до неї. В більшості випадків складний аналітичний запит неможливо сформулювати в термінах стандартної мови запитів SQL, і доводиться застосовувати спеціалізовані мови, орієнтовані на аналітичну обробку даних.

13.2.3. Монітори транзакцій

Зі зростанням складності розподілених обчислювальних систем виникають проблеми ефективного використання їх ресурсів. Для розв'язку цих проблем до складу розподілених OLTP-систем вводять додатковий компонент – *монітор транзакцій*.

Монітори транзакцій виконують дві основні функції в СКБД: динамічний розподіл запитів у системі й оптимізацію кількості виконуваних серверних додатків. Перша функція спрямована на оптимальний розподіл обчислювальних ресурсів між декількома серверами при обробці великої кількості запитів, друга функція спрямована на розв'язок завдання запуску необхідної і достатньої кількості серверних додатків для обробки запитів із забезпеченням максимальної швидкості обробки транзакцій.

Якщо в системі використовується монітор транзакцій, то з боку розробника не потрібно додаткових витрат для підтримки контролю цілісності даних, і він може зосередитись на розв'язку інших завдань.

13.3. Оптимізація баз даних

Оптимізація БД – це процес налаштування системи, спрямований на підвищення швидкості її роботи або скорочення об'єму використовуваної пам'яті. У більшості випадків успіх при оптимізації баз даних досягається тоді, коли накопичено достатній досвід проектування і супроводу таких систем. Врешті-решт оптимізація спрямована на економію грошових коштів, пов'язаних з експлуатацією і супроводом БД, отже, фінансові витрати на оптимізацію не повинні перевищувати економічної ефективності від впровадження засобів оптимізації.

Оптимізація починається з організаційних заходів, спрямованих на оновлення апаратної частини, оновлення операційної системи та оновлення безпосередньо СКБД (рис. 13.3).

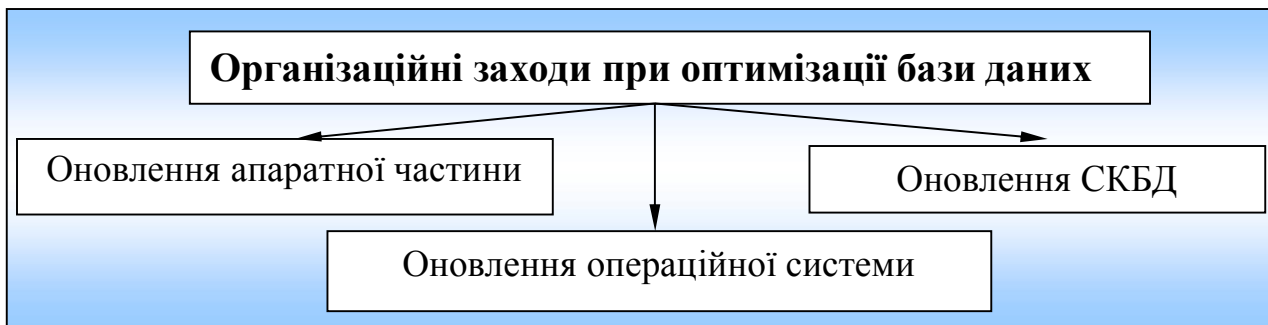


Рис. 13.3. Організаційні заходи при оптимізації бази даних

Найбільший ефект приносить оновлення апаратної частини, при цьому саме цей організаційний захід може виявитися найдешевшим варіантом.

Гордон Мур встановив, що обчислювальні потужності зростають кожні півтора роки. Незважаючи на таке стрімке зростання продуктивності, питома вартість обчислювальних засобів невинно знижується, що й гарантує досягнення необхідного результату.

Наступним етапом організаційних заходів, спрямованих на оптимізацію бази даних, є оновлення операційної системи. Залежно від цілей і завдань, які ставляться перед БД, можна використовувати або безплатні облегшені операційні системи, або комерційні операційні системи.

Оновленню підлягає і сама СКБД. Постійно випускаються нові версії програмних продуктів такого типу, які розв'язують або нові завдання, або старі, на новому рівні. При цьому в нових версіях СКБД зазвичай виправлено похибки, які також можуть істотно впливати на ефективність роботи.

Однак, оскільки не завжди вдається досягти потрібного ефекту за рахунок організаційних заходів, іноді доводиться застосовувати безпосередньо методи оптимізації БД. Класифікацію методів оптимізації баз даних наведено на рис. 13.4.

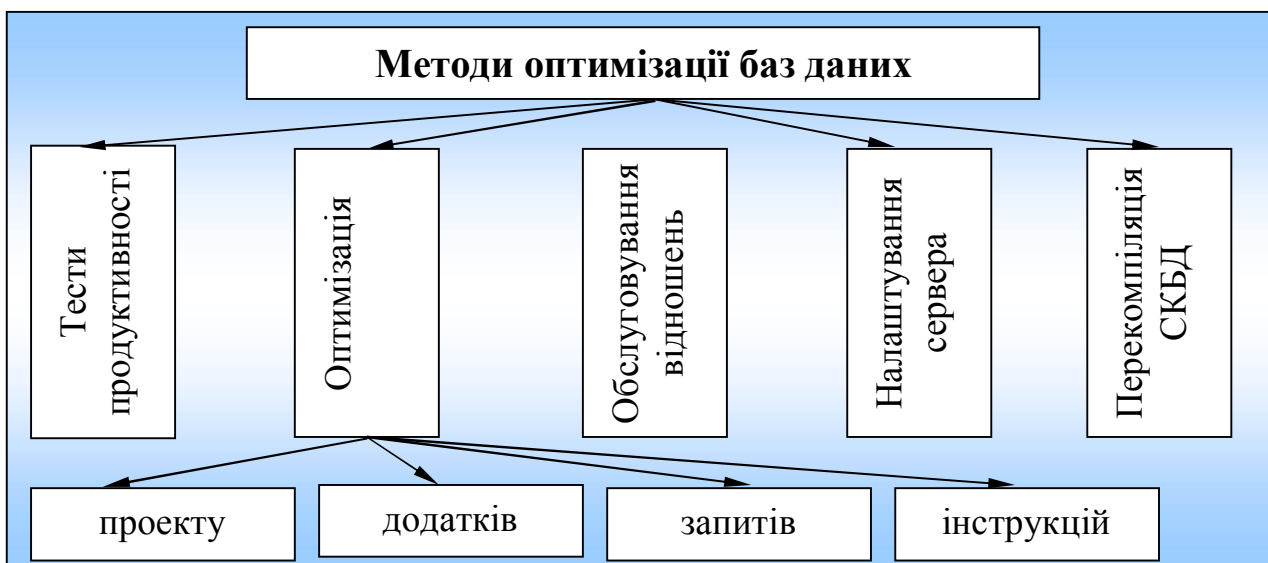


Рис. 13.4. Методи оптимізації баз даних

Попереднім етапом оптимізації БД є оцінка продуктивності. Практично всі розробники СКБД надають комплекс тестів продуктивності, що включають в себе перевірку декількох стандартних аспектів функціонування БД, наприклад, швидкості виконання запитів, операцій зчитування і запису, а також поради з усунення недоліків, виявлених у процесі тестування системи.

Такі тести відбивають тільки відносну продуктивність сервера. За їх допомогою можна дізнатись, наскільки зросте швидкість його роботи при зміні рекомендованих налаштувань, вони лише непрямо допомагають в оптимізації БД.

Оптимізація БД починається з оптимізації проекту. Основною метою даного методу є визначення прийняттого рівня надлишковості даних і денормалізація деяких відношень.

Для цього процесу характерним є створення підсумкових даних. Наприклад, можна додати до відношення атрибут, що зберігає результати обчислень по інших атрибутах, іноді застосовують технологію створення не тільки підсумкових атрибутів, а й цілих відношень, причому, якщо такі відношення зберігають часто змінювану інформацію, можна зробити їх резидентними.

Також особливу увагу при оптимізації проекту приділяють визначенню типів даних. Наприклад, іноді доцільно не використовувати тип даних змінної довжини, що підтримується багатьма сучасними СКБД. Як правило, в них зберігаються відеофільми, звукозаписи, зображення. З точки зору оптимізації проекту більш ефективним є запам'ятовування лише шляху до таких файлів, при окремому збереженні їх від БД.

Оптимізація додатків, що працюють з БД, головним чином полягає в використанні технології кешування. Для швидкого підключення до БД можна кешувати з'єднання з БД, можна кешувати дані з відношень, що використовуються найбільш часто, або перед виконанням вставки кортежем у відношення, щоб потім здійснити виконання цієї операції в пакетному режимі.

У разі використання мови запитів SQL оптимізувати запит доволі складно, хоча різноманітні підходи до реалізації одного й того ж завдання можуть заощадити процесорний час. При проектуванні запитів необхідно особливу увагу приділяти роботі з індексами, оскільки вони дозволяють істотно підвищити швидкість роботи додатка. Якщо подібний індекс ще не існував, то за потреби його слід створити, оскільки в багатьох проєктах пріоритетним завданням є збільшення швидкості роботи додатка, а не економія дискового простору.

Крім оптимізації запитів, можна застосовувати методи оптимізації інших інструкцій, наприклад, інструкцій вставки і видалення. Щоб уникнути витрат часу на аналіз інструкції, можна скористатися перевагами

значень за замовчуванням: замість того щоб вказувати значення всіх атрибутів, можна задати лише ті, які відрізняються від стандартних установок. Для того щоб не дублювати синтаксис однотипних операцій, необхідно використовувати багаторядкові інструкції. Також можна скористатися командами, що дозволяють поміщати інструкції в чергу без блокування клієнтського додатка, що підвищує його оперативність.

Періодично для прискорення виконання запитів необхідно здійснювати оптимізацію відношень. По-перше, можна видаляти порожні проміжки, що залишилися після видалення кортежів. По-друге, можна з'єднувати розподілені фрагменти відношень з динамічними кортежами. По-третє, можна сортувати відношення й індекси. У разі якщо відношення протягом часу практично не змінюється і дисковий простір обмежений, можна архівувати відношення, однак після цього воно буде доступним лише для зчитування.

Розподіл ресурсів сервера, а головним чином оперативної пам'яті, також впливає на продуктивність баз даних. Збільшення об'єму пам'яті сприяє прискоренню роботи СКБД, оскільки в оперативній пам'яті вона зберігає представлення і часові відношення. Існує безліч зразків конфігураційних файлів з різними варіантами налаштувань, що стосуються використання пам'яті сервера, практично для всіх баз даних і операційних систем. Підбір найбільш придатних конфігурацій сервера в сукупності з тестуванням системи може принести позитивні результати при проведенні оптимізації баз даних.

Необхідність у компіляції при оптимізації баз даних виникає в тому разі, коли для використовуваної платформи неможливо знайти скомпільовану версію СКБД або використовувані бібліотеки чи компілятори морально застаріли. Інструкцій з перекомпіляції на інформаційних ресурсах розробників БД доволі багато, однак цей метод оптимізації є крайнім і застосовується в тому разі, коли всі інші варіанти оптимізації не принесли прийняттого результату.

13.4. Організація безпеки баз даних

Для організації безпеки БД недостатньо організувати охорону приміщень і встановити програмні засоби захисту. Потрібен комплексний підхід, який передбачає організацію захисту СКБД відповідно до її структури, завдань і можливостей захисту.

Систему безпеки БД потрібно планувати з початку її розробки і виконувати на всіх етапах життєвого циклу.

На практиці створення системи захисту часто починається в процесі експлуатації БД. Система безпеки повинна бути багаторівневою, адаптованою до нових умов функціонування.

Для ефективної побудови системи безпеки необхідно, по-перше, виділити уразливі елементи з СКБД, по-друге, виявити загрози для виділених елементів, по-третє, сформулювати вимоги до системи безпеки і, нарешті, вибрати методи та засоби задоволення висунутим вимогам.

Безпека СКБД може бути порушена внаслідок реалізації загроз, які являють собою можливість навмисної або випадкової дії, що може призвести до порушення безпеки інформації, яка зберігається та оброблюється.

Основними видами загроз у СКБД є несанкціоноване або некоректне використання ресурсів, поява похибок у програмних і апаратних засобах, викрадення носіїв інформації, виведення з ладу засобів збереження або передачі даних.

Існуючі методи забезпечення безпеки БД можна розділити на чотири основні класи: фізичні, апаратні, програмні й організаційні (рис. 13.5).

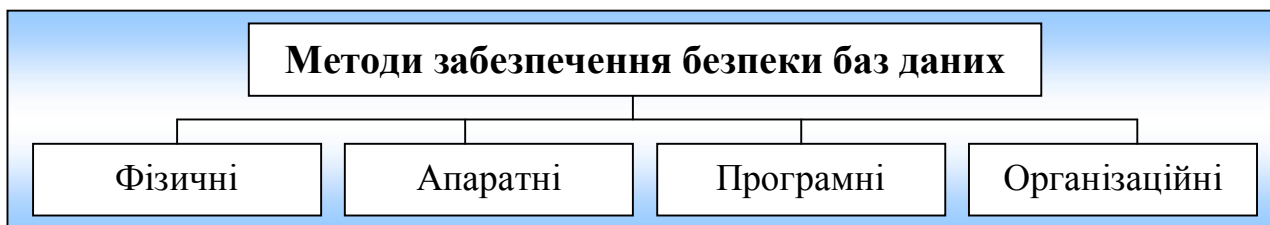


Рис. 13.5. Методи забезпечення безпеки баз даних

Фізичний захист спрямований на обмеження доступу сторонніх осіб у приміщення, де розташований сервер з встановленою СКБД. Фізичні методи забезпечення безпеки включають засоби охоронної сигналізації, що засновані на різних принципах.

Основними апаратними засобами забезпечення безпеки є засоби захисту процесорів, наприклад, перевірка припустимості команд, що видаються, пристроїв зовнішньої пам'яті, каналів зв'язку і систем електроживлення.

До програмних методів забезпечення безпеки БД відносять застосування вбудованих засобів операційних систем і антивірусних програм, використання спеціалізованих комерційних додатків і утиліт.

Організаційний захист передбачає сукупність дій, пов'язаних з розробкою і прийняттям законодавчих документів, що стосуються питань захисту інформації, а також з проведенням пропагандистських заходів щодо роботи з БД в межах правового поля.

Однак найбільший інтерес становить синтез двох підходів, які реалізують програмно-апаратні методи забезпечення захисту інформації в БД. Програмно-апаратні засоби забезпечення безпеки допомагають як захистити СКБД від зовнішніх впливів, так і запобігти виникненню похибок у самих додатках, що працюють з БД.

13.5. Захист баз даних від несанкціонованого доступу

Для захисту від несанкціонованого доступу за допомогою програмно-апаратних засобів використовують технологію реєстрації спроб доступу в систему з боку користувачів і програм, а також гнучку політику швидких повідомлень про такі спроби.

Захист від несанкціонованого доступу з боку користувачів у сучасних системах реалізується двома способами: паролем захистом і шляхом ідентифікації й автентифікації⁴⁷.

Найпростіший парольний захист є доволі слабким засобом забезпечення безпеки БД, особливо якщо пароль не шифрується. Основний її недолік полягає в тому, що всі користувачі, що використовують однаковий пароль, з точки зору СКБД, ідентичні. Незручність парольного захисту для користувача полягає в тому, що при використанні простого і короткого пароля з'являється загроза його підбору зловмисниками, а якщо пароль складний, то користувач повинен додатково його зберігати на іншому носіїві і відповідно забезпечувати йому додатковий захист.

Більш серйозний контроль доступу в систему відбувається, якщо кожного користувача, що підключається до БД, спочатку ідентифікувати, а потім автентифікувати – переконатися, що це саме він, і при запиті ресурсів контролювати його повноваження.

Для автентифікації можна використовувати особисту інформацію користувача, електронні ключі, електронні жетони, магнітні картки, активні засоби розпізнавання або біометричні засоби. Найбільш перспективними є біометричні засоби захисту баз даних. До них відносяться контроль за відбитками пальців, зчитування сітчатки ока, розпізнавання голосу, визначення ДНК людини. Однак багато з цих методів проходять етапи доопрацювання та апробації.

Одним із різновидів несанкціонованих програм є комп'ютерні віруси. Кількість комп'ютерних вірусів постійно зростає, отже, і потенційний збиток від їх роботи також пропорційно зростає. Тому проблема захисту БД від комп'ютерних вірусів на всіх стадіях їх розвитку є надзвичайно актуальною. Для цього в СКБД розробники включають засоби діагностування стану програмно-апаратних засобів, локалізації і видалення вірусів, усунення наслідків їх дії.

13.6. Захист баз даних від несанкціонованого використання ресурсів

Забезпечення захисту від несанкціонованого використання ресурсів вимагає застосування засобів моніторингу запитів ресурсів, що підлягають

⁴⁷Автентифікація (з грец. *αυθεντικός* – реальний або істинний) – процедура встановлення справжності користувача.

захисту, і сигналізації при спробі їх незаконного використання. До таких засобів відносяться варіанти захисту від копіювання даних, дослідження додатків, перегляду, модифікації і видалення даних.



Рис. 13.6. Приклади несанкціонованого використання ресурсів

Для захисту СКБД від несанкціонованого копіювання в додатках можна використовувати прив'язку до апаратної частини, щоб створена копія була непрацездатною на іншому комп'ютері.

При несанкціонованому дослідженні додатків застосовуються такі засоби, які не дозволяють або ускладнюють вивчення системи захисту БД. Наприклад, після декількох невдалих спроб підключення до додатка, який має парольний захист, необхідно блокувати подальші спроби підключення до неї або передбачити засоби самоліквідації.

Найбільш ефективним засобом захисту даних від перегляду є їх шифрування. Несанкціонований перегляд даних при цьому потребує використання ключа шифрування, підбір якого навіть при сучасному рівні розвитку інформаційних технологій становить складне завдання.

Шифрування незамінне для захисту інформації від розкриття її змісту в СКБД, а також при її передачі лініями зв'язку. Шифрування даних здійснюється в темпі надходження інформації і в автономному режимі. Перший спосіб застосовується в системах прийому-передачі інформації, а другий – для засекречування інформації.

Поширеним підходом до розв'язку задачі захисту даних від модифікації є обчислення контрольних сум і їх порівняння з еталоном.

Захистити дані від видалення можна шляхом запобігання несанкціонованим операціям видалення в СКБД. Для цього цілей необхідно розробляти додаткові програмні засоби, які паралельно з виконанням користувацького додатку відслідковує запити на видалення, що надходять, і в разі їх несанкціонованого виконання відмовляють у доступі до даних.

13.7. Захист баз даних від некоректного використання ресурсів

Захист від некоректного використання ресурсів виконується операційною системою і передбачає виділення клієнтським додаткам ізольованої частини оперативної пам'яті та захист системних ділянок зовнішньої пам'яті. Однак більшість розробників ідуть далі і впроваджують різноманітні інструменти коректного використання прикладних ресурсів, наприклад, документів, зображень, звукових файлів.

13.8. Захист баз даних за допомогою внесення надлишковості

Дуже ефективним способом відновлення БД після збоїв є *надмірність*. Надмірність буває *функціональною, інформаційною* або *структурною*. Залежно від цілей захисту БД можна використовувати одну з представлених видів надмірності або їх композицію.

Функціональна надмірність означає організацію обчислювального процесу, при якому дублюються функції управління, зберігання й обробки інформації.

Наприклад, запуск декількох однакових клієнтських додатків у багатозадачній операційній системі є ознакою функціональної надмірності.

Інформаційна надмірність використовується для запобігання повній втраті інформації і реалізується шляхом одноразового або періодичного копіювання та архівування найбільш цінної інформації. У разі збою або втрати інформації можна, використовуючи резервну копію, відновити необхідну інформацію, важливим аспектом в даному разі є *періодичність*. Якщо резервування проводиться часто, то може постати проблема неефективного використання дискового простору, якщо резервування проводиться рідко, то можуть зрости витрати на відновлення інформації, яка накопичилася в БД між моментом останнього збереження і моментом збою.

Структурна надмірність означає резервування апаратних компонентів обчислювальної системи на різних рівнях: дублювання серверів обробки інформації, дублювання накопичувачів інформації. При резервуванні необхідно в першу чергу забезпечити стабільне та безперебійне живлення обчислювальної системи.

XIV. МОВА СТРУКТУРОВАНИХ ЗАПИТІВ SQL

Мова маніпулювання даними (ММД) дозволяє виконувати передбачені в системі операції над даними з бази даних, тобто містить набір операторів маніпулювання даними, що дозволяє вибирати, заносити дані, видаляти, модифікувати (редагувати) тощо.

В даний час існують численні приклади мов СКБД, що поєднують можливості опису даних і маніпулювання даними в єдиних синтаксичних рамках. Більш того, сучасні СКБД підтримують єдину інтегровану мову, що містить усі необхідні засоби для роботи з базою даних. Це мова SQL (Structured Query Language – структурована мова запитів) і QBE (Query-By-Example – запити за зразком).

14.1. Загальні відомості про структуровану мову запитів

Зростання кількості даних, необхідність їх збереження та обробки призвели до того, що виникла потреба створення *мови маніпулювання даними (ММД)*, яка б могла функціонувати в численних комп'ютерних системах різних видів.

Будь-яка ММД повинна надавати користувачу можливості:

- створювати БД і таблиці з повним описом їх структури;
- виконати основні операції маніпулювання даними, зокрема, вставку, модифікацію і видалення даних з таблиць;
- виконувати прості і складні запити, які здійснюють перетворення даних.

Усі ММД, що були створені до появи реляційних баз даних і розроблені для багатьох СКБД, орієнтувались на операції з даними, які були представлені у вигляді логічних записів файлів. Це вимагало від користувачів ретельного знання організації збереження даних і певних зусиль для вказівки не тільки того, які дані потрібні, але й того, де вони розміщені і як крок за кроком отримати їх. Тому актуальною стала проблема створення універсальної ММД, за допомогою якої користувачі могли б маніпулювати даними незалежно від того, де вони працюють (на персональному комп'ютері, мережевій робочій станції або універсальній ЕОМ).

Саме такою мовою, яка з'явилась у результаті розробки реляційної моделі даних, стала мова SQL (Structured Query Language – мова структурованих запитів), яка на даний час отримала широке поширення і фактично перетворилася на стандартну мову реляційних баз даних.

SQL веде свою історію з початку 1970-х рр., коли в дослідній лабораторії компанії IBM у штаті Каліфорнія була розроблена його перша версія. Перша публікація опису мови відноситься до 1974 р. На той час її назвали SEQUEL (Structured English Query Language – структурована англійська мова запитів). Спочатку вона була реалізована в експериментальній реляційній СКБД System/R, проект якої ініціювала в середині 70-х рр. XX ст. компанія IBM у дослідній лабораторії в Сан-Хосе. При реалізації наступної версії System/R мова була перейменована в SQL. Дослідний проект System/R був завершений у 1979 р. і підтвердив можливість створення ефективних промислових реляційних СКБД.

У 1977 р. невеличка, щойно створена фірма Relational Software розпочала до створення промислової реляційної СКБД на основі SQL. Постачання цієї СКБД, яка отримала назву Oracle, розпочалось у 1979 р. Незабаром і сама фірма була перейменована в Oracle. З того часу вона є найбільшим постачальником реляційних СКБД на базі SQL.

У середині 70-х рр. XX ст. в дослідній лабораторії Каліфорнійського університету в Берклі був відкритий проект зі створення реляційної СКБД. У цій лабораторії, як і в компанії IBM, створили експериментальну СКБД, що отримала назву Ingress, на якій відпрацьовувались результати наукових досліджень в галузі реляційних баз даних.

У 1980 р. частина співробітників цієї лабораторії організували фірму Relational Technology, яка в 1981 р. випустила промислову СКБД Ingress. Первісно ця СКБД використовувала реляційну мову QUEL, однак у 1986 р. була переведена на мову SQL.

У 1980 р. компанія IBM на основі досвіду, одержаного при розробці експериментальної System/R, розпочала до створення власної промислової СКБД реляційного типу, яка почала постачатись у 1982 р. під назвою SQL/DS. Згодом в компанії був розроблений більш досконалий продукт – DB2, постачання якого розпочалось у 1985 р. Ця СКБД стала стратегічним програмним продуктом компанії IBM.

Таким чином, до середини 80-х рр. XX ст. SQL стала загально-визнаною мовою реляційних СКБД, а її діалект, що підтримувався СКБД DB2, фактично став стандартом для керування реляційними БД.

Стандарт на мову SQL був випущений Американським національним інститутом стандартів (ANSI) у 1986 р., а в 1987 р. Міжнародна організація стандартів (ISO) прийняла його як міжнародний. Нинішній стандарт SQL відомий під назвою SQL/92. На сучасному етапі ведеться робота над більш сучасним стандартом SQL3.

Мова SQL (Structured Query Language – структурована мова запитів) орієнтована на операції з даними, представленими у вигляді логічно взаємопов'язаних сукупностей таблиць.

Особливість пропозицій цієї мови полягає в тому, що вони орієнтовані здебільшого на кінцевий результат обробки даних, а не на процедуру цієї обробки. SQL сама визначає, де знаходяться дані, які індекси і навіть найефективніші послідовності операцій треба використати для їх одержання, при цьому не потрібно вказувати ці деталі в запиті до БД.

SQL – мова програмування четвертого покоління, яка максимально наближена до людської мови.

Одним із головних завдань SQL є легкість синтаксису мови, вона зрозуміла всім, починаючи від користувачів і закінчуючи адміністраторами, а її запити читаються як звичайні речення.

Словник SQL відносно невеликий, а його команди є слова англійською мовою. Зазвичай ключові слова SQL записують прописними літерами, щоб відрізнити їх від назв таблиць і стовпчик. Часто для зручності сприйняття інструкції SQL записують у декількох рядках, що допускається синтаксичним аналізатором.

Для зручності подальших міркувань при опису реляційної моделі даних будемо використовувати табличний варіант термінів: *відношення* – таблиця, *кортеж* – рядок, *атрибут* – стовпчик, оскільки саме така термінологія використовується при програмуванні баз даних.

Реалізація в SQL концепції операцій, орієнтованих на табличне подання даних, дозволила створити компакту мову з невеликим набором пропозицій. Мова SQL може використовуватися як для виконання запитів до даних, так і для побудови прикладних програм.

14.2. Категорії команд SQL

Основні категорії команд мови SQL призначені для виконання різноманітних функцій, включаючи побудову об'єктів бази даних і маніпулювання ними, початкове завантаження даних у таблиці, оновлення і видалення існуючої інформації, виконання запитів до бази даних, управління доступом до неї і її загальне адміністрування.

Серед категорій команд мови SQL можна виділити:

- мову визначення структур БД;
- мову маніпулювання даними;
- мову запитів;
- мову керування даними;
- команди адміністрування даних;
- команди керування транзакціями.

Мова визначення структур бази даних (Data Definition Language DDL) дозволяє створити і змінювати структуру об'єктів бази даних, наприклад, створювати і видаляти таблиці. Основними командами мови

DDL є: CREATE TABLE, ALTER TABLE, DROP TABLE, CREATE INDEX, ALTER INDEX, DROP INDEX.

Мова маніпулювання даними (Data Manipulation Language – DML) використовується для маніпулювання інформацією всередині об'єктів реляційної бази даних за допомогою трьох основних команд: INSERT, UPDATE, DELETE.

Мова запитів (Doctrine Query Language – DQL) є найбільш відомою користувачам реляційних баз даних, незважаючи на те, що вона включає тільки одну команду SELECT. Ця команда разом зі своїми численними опціями і пропозиціями використовується для формування запитів до реляційної бази даних.

Мова керування даними (Data Control Language – DCL) дозволяє керувати доступом до інформації, що знаходиться всередині БД. Зазвичай, вона використовується для створення об'єктів, пов'язаних з доступом до даних, а також слугує для контролю над розподілом пріоритетів між користувачами. Команди керування даними – GRANT, REVOKE.

Команди адміністрування даних дозволяють користувачу здійснювати контроль за виконанням дій та аналізувати операції БД; вони також можуть виявитися корисними при аналізі продуктивності системи.

Примітка. Не треба плутати адміністрування даних з адмініструванням БД, яке є загальним керуванням БД і має на меті використання команд усіх рівнів.

Команди керування транзакціями – COMMIT, ROLLBACK, SAVEPOINT, SET TRANSACTION.

14.3. Переваги мови SQL

Мова SQL є основою багатьох СКБД, оскільки відповідає за фізичне структурування і запис даних на диск, а також за зчитування даних з диска, дозволяє приймати SQL-запити від інших компонентів СКБД і додатків користувачів.

SQL – потужний інструмент, який забезпечує користувачів, програми і обчислювальні системи доступом до інформації, що міститься в реляційних БД.

Основні переваги мови SQL полягають у наступному:

- *стандартизованість* – використання мови SQL у програмах стандартизовано міжнародними організаціями;
- *незалежність від конкретних СКБД* – усі поширені СКБД використовують SQL, оскільки реляційну базу даних можна перенести з однієї СКБД на іншу з мінімальними доробками;
- *можливість переносу з однієї обчислювальної системи на іншу* – СКБД може бути орієнтована на різні обчислювальні системи, однак додатки, створені за допомогою SQL, припускають використання як для локальних БД, так і для великих багатокористувацьких систем;

- *реляційна основа мови SQL є мовою реляційних БД*, тому вона набула популярності тоді, коли одержала широке поширення реляційна модель подання даних. Таблична структура реляційної БД добре зрозуміла, а мова SQL проста для вивчення;

- *можливість створення інтерактивних запитів* – SQL забезпечує користувачам практично миттєвий доступ до даних, при цьому в інтерактивному режимі можна одержати результат запиту за дуже короткий час без напису складної програми;

- *можливість програмного доступу до БД* – мова SQL легко використовується в додатках, яким необхідно звертатися до БД. Одні й ті ж оператори SQL використовуються як для інтерактивного, так і програмного доступу, тому частини програм, що містять звернення до БД, можна спочатку перевірити в інтерактивному режимі, а потім убудовувати в програму;

- *забезпечення різного представлення даних* – за допомогою SQL можна представити таку структуру даних, що той або інший користувач буде бачити різні їх представлення. Крім того, дані з різних частин БД можуть бути скомбіновані і представлені у вигляді однієї простої таблиці, а значить, представлення придатні для посилення захисту БД і її налаштування під конкретні вимоги окремих користувачів;

- *можливість динамічної зміни і розширення структури БД* – мова SQL дозволяє маніпулювати структурою БД, тим самим забезпечуючи гнучкість з точки зору пристосованості БД до вимог предметної сфери, що змінюються;

- *підтримка архітектури клієнт-сервер*. *SQL* – один з найкращих засобів для реалізації додатків на платформі клієнт-сервер. SQL слугує сполучною ланкою між клієнтською системою, що взаємодіє з користувачем, і серверною системою, що керує БД, дозволяючи кожній з них зосереджуватись на виконанні своїх функцій.

Мова SQL використовується в інших стандартах і навіть здійснює вплив на розробку інших стандартів як інструмент визначення (наприклад, стандарт Remote Data Access, RDA).

Створення мови сприяло не тільки розробці необхідних теоретичних основ, а й підготовці успішно реалізованих технічних рішень. Це безпосередньо стосується оптимізації запитів, методів розподілу даних і реалізації засобів захисту. Почали з'являтися спеціалізовані реалізації мови, призначені для нових ринків: системи керування обробки транзакцій (On-Line Transaction Processing, OLTP) і системи оперативної аналітичної обробки або системи підтримки прийняття рішень (On Line Analytical Processing, OLAP). Вже відомі плани подальших розширень стандарту, які включають підтримку розподіленої обробки, об'єктно орієнтованого програмування, розширень користувачів і мультимедіа.

14.4. Базові поняття реляційних баз даних

Основними поняттями реляційної БД (РБД) є: *відношення, домен, кортеж, тип даних, атрибут, схема відношення, первинний ключ* (рис. 14.1).

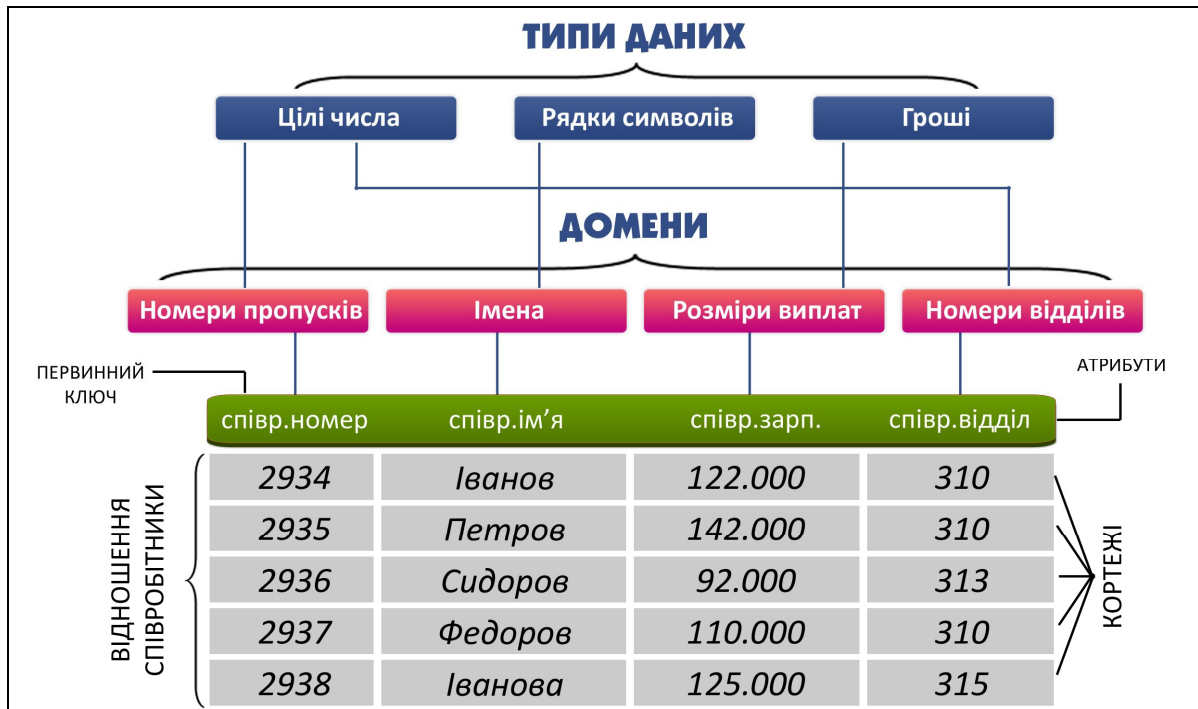


Рис. 14.1. Схема реляційної бази даних

Відношення – фундаментальне поняття реляційної моделі даних. Звичайним представленням відношень є *таблиця*, заголовком якої є *схема відношень*, а рядками – *кортежі відношення-екземпляра* (рис. 14.2).



Рис. 14.2. Представлення відношень

Імена атрибутів іменують стовпчики цієї таблиці. Тому іноді кажуть "стовпчик таблиці", маючи на увазі атрибут відношення.

Примітка. В реляційній теорії баз даних розділяють поняття таблиці і відношення. Наприклад, у відношенні не обумовляються порядок стовпчик, а тільки їх набір. Ще для відношень визначені обмеження типу неможливості містити два абсолютно однакові рядки. Відношення – доволі абстрактний вид об'єкта, а таблиця – його конкретне зображення. Проте в подальшому, для спрощення викладу, будемо вважати ці поняття ідентичними, незважаючи на те, що в теорії баз даних ці поняття різняться.

Відношенням R називають підмножину декартового добутку $D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ множин D_1, D_2, \dots, D_n ($n \geq 1$) не обов'язково різних. Вихідні множини D_1, D_2, \dots, D_n називаються доменами.

Найбільш правильним трактуванням поняття домену є розуміння його як припустимого потенційної безлічі значень даного типу.

Домен – обмежена підмножина значень даного типу.

Домен має таке семантичне навантаження: дані вважаються порівнюваними тільки у тому разі, коли вони відносяться до одного домену.

Кортеж – це множина пар {ім'я атрибута, значення}, яка містить одне входження кожного імені атрибута, що належить схемі відношення.

Кортеж – набір іменованих значень даного типу.

Типи даних – у сучасних реляційних БД припускається збереження символічних, числових даних, бітових рядків, спеціалізованих числових даних, спеціальних темпоральних і абстрактних даних.

Атрибут – це входження домену у відношення.

Будь-який об'єкт реального світу характеризується певною множиною характеристик (атрибутів (A_1, A_2, \dots, A_n)). Ця характеристика має ім'я атрибута (A_1, A_2, \dots, A_n) і множину допустимих значень – доменів.

Тоді таблиця являє собою відношення, в якому кожний рядок є множиною значень, взятих по одному з домену кожного імені атрибута.

Рядки відношень називаються кортежами і мають арність, яка дорівнює кількості атрибутів.

Кортежі відношень утворюють множину, оскільки рядки не дублюються.

Схемою відношення S_R називається скінченна множина імен атрибутів (A_1, A_2, \dots, A_n) :

$$S_R = (A_1, A_2, \dots, A_n), A_i \subseteq D_j.$$

Якщо атрибути приймають значення з одного і того ж домену, то вони називаються θ - порівнюваними, де θ – множина припустимих операцій порівняння, заданих для даного домену. Наприклад, якщо домен містить числові дані, то для нього припустимими є всі операції порівняння. Отже, можна записати $\theta = \{=, <, >, >=, = <, < >\}$.

Однак і для доменів, що містять символічні дані, можуть бути задані не тільки операції порівняння за рівністю і нерівністю значень. Якщо для даного домену задано графічну упорядкованість, то він має також повний спектр операцій порівнянь.

Схеми двох відношень називаються *еквівалентними*, якщо вони мають однакову степінь і таку впорядкованість імен атрибутів у схемах, що на однакових місцях будуть знаходитись порівнювані атрибути, тобто атрибути, що приймають значення з одного домену.

$S_{R_1} = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ – схема відношення R_1 ,

$S_{R_2} = (B_1, B_2, \dots, B_n)$ – схема відношення R_2 після впорядкування.

У реляційній моделі, як і в теоретико-графовій, підтримуються ієрархічні зв'язки між відношеннями. В кожному зв'язку одне відношення може виступати як основне, а інше виступає в ролі підпорядкованого. Це означає, що один кортеж основного відношення може бути пов'язаний з декількома кортежами підпорядкованого відношення. Для підтримки цих зв'язків, обидва відношення повинні містити набори атрибутів, за якими вони пов'язуються.

В основному відношенні це *первинний ключ відношень*, який являє собою набір атрибутів, значення яких однозначно визначають кортеж основного відношення. Для кожного відношення принаймні повний набір його атрибутів має цю властивість. Однак при формальному визначенні первинного ключа вимагається забезпечення його мінімальності, тобто в набір атрибутів первинного ключа не повинні входити такі атрибути, які можна відкинути без завдання шкоди для основної властивості – однозначно визначати кортеж.

У підпорядкованому відношенні для моделювання зв'язку повинен бути присутній набір атрибутів, який відповідає первинному ключу основного відношення, однак тут цей набір атрибутів уже є *вторинним ключем*, тобто він визначає множину кортежів підпорядкованого відношення, які пов'язані тільки з одним кортежем основного відношення. Даний набір атрибутів у підпорядкованому відношенні називається *зовнішнім ключем*.

14.5. Фундаментальні властивості відношень

1. *Відсутність кортежів-дублікатів.* Впливає з визначення відношень як множини кортежів.

2. *Відсутність упорядкованості кортежів.* Дає додаткову гнучкість при збереженні БД у зовнішній пам'яті і при виконанні запитів до БД.

3. *Відсутність упорядкованості атрибутів.*

4. *Атомарність значень атрибутів.* Серед значень домену не може міститись множина значень.

Основні правила відношень:

1. Кожне з відношень складається з кортежів і має унікальне ім'я.
2. Рядки мають фіксовану кількість полів та значень, тобто в кожній позиції відношення на перетинанні кортежу й атрибута завжди є одне значення або нічого немає.
3. Кортежі обов'язково відрізняються один від одного хоча б одним значенням, що дозволяє однозначно ідентифікувати будь-який кортеж такого відношення.
4. Атрибутам однозначно привласнюються імена, і в кожному з них розміщуються однорідні значення даних.
5. Повний інформаційний вміст БД подається у вигляді явних значень даних, і такий метод подання є єдиним. Зокрема, не існує будь-яких спеціальних зв'язків або показників, що з'єднують одну таблицю з іншою.
6. При виконанні операцій з відношенням його кортежі й атрибути можна обробляти в будь-якому порядку безвідносно до їх інформаційного вмісту.

14.6. Базисні засоби маніпулювання реляційними даними

Базисні засоби маніпулювання реляційними даними визначають два механізми:

- 1) реляційна алгебра, яка заснована на теорії множин;
- 2) реляційне числення, яке ґрунтується на математичній логіці, точніше на обчисленні предикатів першого порядку. Зазвичай розглядають два види обчислень: обчислення доменів і обчислення предикатів (*предикат* – це вислів, у який можна підставляти аргументи).

Ці механізми мають важливу властивість – вони замкнені відносно поняття *відношення*. Це означає, що вираз реляційної алгебри і формули реляційного числення визначають над відношенням реляційної БД і результатом обчислення також є відношення. В результаті будь-який вираз або формула можуть інтерпретуватись як відношення, що дозволяє їх використовувати в інших виразах або формулах.

Реляційна алгебра має велику вразливу потужність, тобто дуже складні запити до БД можуть бути виражені за допомогою одного виразу реляційної алгебри або однієї формули реляційного числення.

Конкретна мова маніпулювання реляційною БД називається реляційно повною, якщо будь-який запит, що здійснюється за допомогою одного виразу реляційної алгебри або однієї формули реляційного числення, може бути виражений за допомогою одного оператора цієї мови.

Механізми реляційної алгебри і реляційного числення різняться рівнем процедурності.

Вирази реляційної алгебри будуються на основі алгебраїчних операцій високого рівня, і подібно до того, як інтерпретуються арифметичні і логічні вирази реляційної алгебри, вони так само мають процедурну інтерпретацію. Для формули реляційного числення однозначна інтерпретація, зазвичай, відсутня.

Формула ж тільки встановлює умови, які повинні задовольняти кортежі результуючого відношення. Тому мови реляційного числення є менш процедурними або декларативними.

Оскільки механізми реляційної алгебри і реляційного числення є еквівалентними, то для перевірки ступеня реляційності певної мови БД можна скористатися будь-яким з цих механізмів. Зазвичай мова ґрунтується на суміші алгебраїчних і логічних конструкцій, наприклад SQL.

14.7. Запис SQL-операторів

Для успішного вивчення мови SQL необхідно навести короткий опис структури SQL-операторів і нотації, що використовуються для визначення формату різних конструкцій мови. Оператор SQL складається із зарезервованих слів, а також зі слів, що визначаються користувачем.

Зарезервовані слова є постійною частиною мови SQL і мають фіксоване значення. Їх треба записувати точнісінько так, як це встановлено, не можна розбивати на частини для переносу з одного рядка на інший.

Слова, що визначаються користувачем, задаються ним самим (відповідно до синтаксичних правил) і становлять ідентифікатори або імена різних об'єктів БД. Слова в операторі також розташовуються відповідно до встановлених синтаксичних правил.

Ідентифікатори мови SQL призначені для позначення об'єктів у БД і є іменами таблиць, представлень, стовпчик та інших об'єктів бази даних. Символи, які можуть використовуватись у створюваних користувачем ідентифікаторах мови SQL, повинні бути визначені як набір символів.

Стандарт SQL задає набір символів, який використовуються за замовчуванням. Він включає рядкові і прописні літери латинського алфавіту (A–Z, a–z), цифри (0–9) і символ підкреслювання (). На формат ідентифікатора накладаються такі обмеження:

- ідентифікатор може мати довжину до 128 символів;
- ідентифікатор повинен починатись з букви;
- ідентифікатор не може містити проміжки.

Приклад запису:

```
<ідентифікатор> ::= <буква>  
          {<буква>|<цифра>} [...n]
```

Більшість компонентів мови не чутливі до регістру. Оскільки в мові SQL вільний формат, окремі SQL-оператори та їх послідовності будуть мати більшу читабельність при використанні відступів і вирівнювання.

Мова, в термінах якої даються описи мови SQL, називається метамовою. Синтаксичні визначення зазвичай задають за допомогою спеціальної металінгвістичної символіки, яка називається формулами Бекуса–Науера (БНФ). Великі літери використовуються для запису зарезервованих слів. Малі літери використовуються для запису слів, що визначаються користувачем. Використовувані в нотації БНФ символи і їх позначення представлено в табл. 14.1.

Таблиця 14.1

Символ	Позначення
::=	Дорівнює за визначенням
	Необхідність вибору одного з декількох наведених значень
<...>	Опис за допомогою метамови структури мови
{...}	Обов'язковий вибір певної конструкції зі списку
[...]	Необов'язковий вибір певної конструкції зі списку
[,...n]	Необов'язкова можливість повторення конструкції від нуля до декількох разів

14.8. Засоби маніпулювання відношеннями

Основна ідея реляційної алгебри – засоби маніпулювання відношеннями можуть ґрунтуватись на традиційних теоретико-множинних операціях, доповнених певними спеціальними операціями, які є специфічними для БД.

Існує декілька підходів до визначення реляційної алгебри. В початковому варіанті набір основних алгебраїчних операцій дорівнює восьми, які поділяються на теоретико-множинні операції та спеціальні реляційні операції.

До першого класу входять:

- 1) об'єднання відношень;
- 2) перетинання відношень;
- 3) різність відношень;
- 4) прямий добуток відношень.

До другого класу входять:

- 5) обмеження відношень;
- 6) проекція відношень;
- 7) з'єднання відношень;
- 8) ділення відношень.

Крім того, до складу алгебри включається *операція присвоювання*, яка дозволяє зберегти в БД результати обчислень алгебраїчних виразів, і *операція перейменування атрибутів*, яка надає можливість коректно сформулювати заголовок результуючого відношення.

14.9. Загальна інтерпретація реляційних операцій

Майже всі операції набору мають наступну інтерпретацію:

1. При виконанні операцій об'єднання 2-х відношень здійснюється відношення, яке включає всі кортежі, що входять в одне з відношень операндів.

2. Операція перетинання 2-х відношень здійснює відношення, які включає всі кортежі, що входять в обидва відношення-операнди.

3. Відношення, які є різницею 2-х відношень включають всі кортежі, що входять у відношення – перший операнд – такі, що жоден з них не входить у відношення, які є другим операндом.

4. При виконанні прямого добутку 2-х відношень здійснюється відношення, кортежі якого є конкатенацією (зчепленням) кортежів першого і другого операндів.

5. Результатом обмеження відношень за певною умовою є відношення, що включає кортежі відношення-операнда, які задовольняють цю умову.

6. При виконанні проєкції відношення на заданий набір його атрибутів здійснюється відношення, кортежі якого виконуються шляхом взяття відповідних значень з кортежів відношення-операнда.

7. При з'єднанні 2-х відношень за певною умовою утворюється результуюче відношення, кортежі якого є конкатенацією 1-го і 2-го відношень і задовольняють цю умову.

8. В операції реляційного ділення два операнди: бінарне й унарне відношення. Результуюче відношення складається з атрибутивних кортежів, що включають значення першого атрибута кортежів 1-го операнда таких, що множина значень 2-го атрибута (при фіксованому значенні 1-го атрибута) збігається з множиною відношень 2-го операнда.

9. Операція перейменування здійснює відношення, тіло якого співпадає з тілом операнда, але імена атрибутів змінені.

10. Операція присвоювання дозволяє зберегти результат обчислення реляційного виразу в існуючому відношенні БД.

Оскільки результатом будь-якої операції, крім операції присвоювання, є певні відношення, можна утворювати реляційні вирази, в яких замість відношення-операнда деякі реляційні операції перебувають вкладеними в реляційний вираз: $A \cup B$, $A \cup (B \cap C)$. Кожне відношення характеризується схемою і набором кортежів. Заголовок відношення представляє

собою множину пар (ім'я атрибута і домену), отже, домени атрибутів результуючого відношення однозначно визначаються доменами відношень-операндів. Однак, іноді виникає конфлікт імен атрибутів. Для розв'язання цього конфлікту до складу операцій реляційної алгебри і введено операцію перейменування. Її слід застосовувати в будь-якому випадку, коли виникає конфлікт іменування атрибутів у відношеннях-операндах однієї реляційної операції. Тоді до одного з операндів спочатку застосовується операція перейменування, а потім виконується основна операція.

1. Об'єднання відношень – називається відношення, яке містить множину кортежів, що належать або 1-му, або 2-му вихідним відношенням, або двом відношенням одночасно.

Нехай задані 2 відношення: $R_1 = \{r_1\}$ і $R_2 = \{r_2\}$, де r_1 і r_2 відповідно кортежі відношень R_1 і R_2 , тоді об'єднання:

$$R_3 = R_1 \cup R_2 = \{r \mid r \in R_1 \vee r \in R_2\},$$

де r – кортеж нового відношення,

\vee – операція логічного додавання АБО (ИЛИ)

2. Перетинання відношень – відношення, яке містить множину кортежів, що належать одночасно і 1-му, і 2-му відношенням.

$$R_4 = R_1 \cap R_2 = \{r \mid r \in R_1 \wedge r \in R_2\},$$

де \wedge – операція логічного множення І (И).

3. Різниця відношень R_1 і R_2 – відношення, що містить множину кортежів, належить R_1 і не належить R_2 .

$$R_5 = R_1 \setminus R_2 = \{r \mid r \in R_1 \wedge r \notin R_2\},$$

$$R_6 = R_2 \setminus R_1 = \{r \mid r \notin R_1 \wedge r \in R_2\}.$$

Перші дві операції є комутативними, тобто результат операції не залежить від порядку аргументів в операції. Операція ж різниці є принципово несиметричною, тобто результат буде різним для різного порядку аргументів.

4. Прямим добутком відношення R_1 в ступені n зі схеми $S_{R_1} = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ і відношення R_2 ступеня m зі схеми $S_{R_2} = (B_1, B_2, \dots, B_m)$

називається відношення R_3 ступеня $n+m$ зі схеми $S_{R_3} = (A_1, A_2, \dots, A_n, B_1, B_2, \dots, B_m)$, що містить кортежі, отримані зчепленням (конкатенацією) кожного кортежу r відношення R_1 з кожним кортежем q відношення R_2 , тобто $R_1 = \{r\}$, $R_2 = \{q\}$, тоді $R_1 \otimes R_2 = \{(r; q) | r \in R_1 \wedge q \in R_2\}$.

Зчепленням, або конкатенацією, кортежів $c = \langle c_1, c_2, \dots, c_n \rangle$ і $q = \langle q_1, q_2, \dots, q_m \rangle$ називається кортеж, отриманий додаванням значень другого в кінець першого.

Зчеплення позначається (c, q) .

Операцію добутку з урахуванням можливості перестановки атрибутів у відношенні можна вважати симетричною. Дуже часто операція добутку використовується для одержання певного універсуму, тобто відношення, яке характеризує всі можливі комбінації між елементами окремих множин, однак самостійного значення результат виконання операцій не має, він бере участь у подальшій обробці.

14.10. Спеціальні операції реляційної алгебри

5. Операція обмеження, фільтрація, горизонтальний вибір

Для визначення цієї операції необхідно ввести додаткове позначення. Нехай α – булевський вираз, складений з термів порівняння за допомогою зв'язок І (\wedge), АБО (\vee) і НІ (\neg), і, можливо, дужок. Як терми порівняння допускаються:

1) терм A ос a ,

де A – ім'я певного атрибута, що приймає значення з домену D ,

a – константа, взята з того ж домену D ,

on – одна з припустимих для цього домену D операція порівняння;

2) терм A ос B ,

де A, B – імена деяких θ - порівнюваних атрибутів, тобто атрибутів, що приймають значення з одного і того ж домену D . Тоді результатом операцій вибору або фільтрації, заданих на відношення R у вигляді булевського виразу, визначеного на атрибутах відношення R , називається відношення $R[\alpha]$, що включає ті кортежі з вихідного відношення, для яких істинна умова вибору або фільтрації.

$$R [\alpha(r)]_2 = \{r | r \in R \wedge \alpha(r) = "True"\}.$$

Операція фільтрації є однією з основних при роботі з реляційною моделлю даних. Умова α може бути будь-якої складності.

6. Операція проектування

Нехай R – відношення; $S_R = (A_1, A_2, \dots, A_n)$ – схема відношень R , позначена через підмножини: $[A_j]$; $B \subseteq \{A_j\}$. Нехай при цьому B^1 – множина атрибутів з множини $\{A_j\}$, що не увійшли в B . Якщо:

$$B = \{A_i^1, A_i^2, \dots, A_i^k\}, \quad B^1 = \{A_j^1, A_j^2, \dots, A_j^k\}$$

і

$$r = \langle a_i^1, a_i^2, \dots, a_i^k \rangle, \quad a_i^k \in A_{ij}^k,$$

то

$$r[B], s = \langle a_j^1, a_j^2, \dots, a_j^m \rangle, \quad a_j^m \in A_j^m.$$

Проекція відношень R на набір атрибутів B , що позначається $R[B]$, називається відношення зі схеми, що відповідає набору атрибутів B : $S_{R[B]} = B$, що містить кортежі, отримувані з кортежів вихідного відношення R шляхом видалення їх значень, що не належать атрибутам з набору B : $R[B] = \{r[B]\}$.

За визначенням відношень усі дублюючі кортежі видаляються з результуючого відношення. Операція проектування (вертикального вибору) дозволяє одержувати тільки потрібні характеристики об'єкта моделювання. Найчастіше операція проектування використовується як проміжний крок в операціях горизонтального вибору або фільтрації. Крім того, вона використовується самостійно на заключному етапі одержання відповіді на запит.

7. Умовне з'єднання

На відміну від унарних операцій фільтрації і проектування, ця операція є бінарною (беруть участь 2 відношення, а результатом є одне).

Нехай $R = \{r\}$, $Q = \{q\}$ – вихідні відношення; S_R і S_Q – відповідно схеми відношень R і Q :

$$S_R = (A_1, A_2, \dots, A_k); \quad S_Q = (B_1, B_2, \dots, B_m),$$

де A_i і B_j – імена атрибутів у схемах відношень.

При цьому вважаємо, що задані набори атрибутів A і B : $A \subseteq \{A_i\}$ $i=1, k$; $B \subseteq \{B_j\}$ $j=1, m$. І ці набори складаються з θ - порівнюваних атрибутів. Тоді з'єднанням R і Q за умови β буде підмножина декартового добутку від R і Q , кортежі якого задовольняють умову β , яка розглядається як одночасне виконання умов:

$$1) r \cdot A_i \theta_i B_i; \quad i = 1, k,$$

де k – кількість атрибутів, що входять в набори A і B ,

θ_i – конкретна операція порівняння;

$$2) A_i \theta_i B_i D,$$

де θ_i – i -й предикат порівняння, що визначається з множини припустимих на домені D операцій порівняння.

$$R[\beta]Q = \{(r; q) \mid (r; q) \cdot A Q, q \cdot B = "True", i = 1, k\}.$$

8. Операція ділення

Нехай є два відношення R і T відповідно до схем:

$$S_R = (A_1, A_2, \dots, A_k); S_T = (B_1, B_2, \dots, B_m),$$

де A і B – набори атрибутів цих відношень однакової довжини без повторень:

$$A \subset S_R; \quad B \subset S_T.$$

Атрибути A^1 – атрибути з R , що не ввійшли в множину A .
Перетинання множин: $A \cap A^1 = \emptyset$, $A \cup A^1 = S_R$.

Проекції $R[A]$ і $T[B]$ сумісні за об'єднанням, тобто мають еквівалентні схеми $S_{R[A]} \sim S_{T[B]}$. Тоді операція ділення ставить у відповідність відношенням R і T відношення Q :

$$Q = R[A : B]T,$$

кортежі якого є тими елементами проекції $R[A^1]$, для яких і $T[B]$ входить у побудовану для них множину образів:

$$R[A : B]T = \{r \mid r \in R[A^1] \wedge T[B] \subseteq \{y \mid y \in R[A] \wedge (r, y) \in R\}\}.$$

Операція ділення достатньо складна для абстрактного подання, вона може бути заміненою послідовністю інших операцій за допомогою визначення послідовності проміжних запитів, які приведуть до кінцевого результату.

XV. ОРГАНІЗАЦІЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ДАНИХ У ГІС

15.1. Загальні відомості про збереження даних у ГІС

Організація даних – процес зведення різномірних даних і моделей у єдину логічно несуперечливу модель, яку в подальшому можна буде ефективно застосовувати в різних технологіях аналізу та управління [19].

Зібрані дані можуть зберігатися у вигляді наборів або файлів. Крім того, при зведенні дані можуть організовувати пов'язані сукупності, які називають моделями. Для того щоб різномірні дані й моделі можна було опрацювати в одній системі, вони повинні бути упорядковані й зведені до єдиної *інформаційної моделі*, де будуть доповнювати одне одного.

Результатом організації даних є створення такої інформаційної моделі, яка дозволяє організувати ефективно збереження в базі даних і ефективну обробку в інформаційних системах та різних технологіях.

Організація даних надає геоданим якісно нові властивості. Саме організація даних дозволяє використовувати геодані при розв'язку широкого кола прикладних задач управління, аналізу, логістики, планування, проектування, прогнозування, використання ресурсів, моніторингу тощо.

Вихідна та попередньо опрацьована інформація включає велику кількість параметрів, деякі з яких можуть дублювати один одного. Зменшення кількості геоданих про реальні об'єкти досягається застосуванням моделей, що зберігають основні властивості об'єктів дослідження і які не містять другорядних властивостей.

Однією з особливостей збору даних у геоінформатиці є те, що вихідні дані можуть мати не тільки різні розмірності, але й вимірюватися в різних шкалах.

Організація даних у геоінформатиці створює умови для зведення даних різної розмірності та шкал вимірів у єдине середовище та їх спільний аналіз.

У процесі організації даних усе розмаїття вхідної інформації – про об'єкти, їх характеристики, про форми і зв'язки між об'єктами, різні описові відомості – перетворюються на набори моделей. При обробці даних в ГІТ використовують *інформаційні моделі*. Інтегрована інформаційна модель становить сукупність простих моделей. Для ефективного обробки даних ця сукупність повинна певним чином бути оптимізована. Це завдання розв'язується шляхом організації даних. Вибір того або іншого способу організації даних в ГІС, в першу чергу саме тієї або іншої моделі даних, має ключове значення.

Вибір моделі даних напряму визначає більшість функціональних можливостей створеної ГІС, оскільки деякі функції або просто неможливо реалізувати для певних типів організації даних, або вони забезпечуються досить складними маніпуляціями.

Організація даних в ГІС напряму визначає і застосовність тих або інших технологій введення даних. Тією ж мірою від неї залежить досяжна просторова точність подання графічної частини інформації, можливість отримання якісного картографічного матеріалу й організації контролю якості карт.

Значною мірою спосіб організації даних у ГІС визначає також досяжну швидкодію системи, наприклад, при виконанні запиту або візуалізації на екрані. Можливість працювати з великими об'ємами даних або з точними даними по великих територіях також пов'язана зі способами та формами організації даних. Зручність редагування й оновлення даних, можливості організації багатокористувацької роботи в режимі редагування, створення розподілених по мережі баз даних – це все також пов'язане, в першу чергу, з організацією даних і вже у другу – з конкретним програмним забезпеченням [25].

На підставі викладеного можна виділити наступні завдання системної організації даних у ГІС:

- 1) перетворення інформації як описових відомостей;
- 2) зведення множини геоданих до єдиної інтегрованої інформаційної моделі;
- 3) класифікація вихідних даних і моделей при перетворенні їх на інтегровану модель;
- 4) ідентифікація даних у процесі перетворення даних на інтегровану модель, чим забезпечується збереження їх індивідуальності;
- 5) встановлення додаткових зв'язків між геоданими на основі їх інтеграції;
- 6) уніфікація вихідних даних і створення можливості обробки й аналізу даних, виміряних у різних шкалах і з різними розмірностями, в єдиній системі;
- 7) створення бази для розв'язання основного завдання геоінформатики – встановлення просторових відношень між просторовими процесами, об'єктами, явищами та їх характеристиками.

Просторова (картографічна) інформація – основа інформаційного блоку ГІС, тому способи її формалізації є найважливішою складовою частиною ГІС. Як відомо, просторова інформація ГІС складається з *метричної* частини, яка описує позиційні властивості об'єктів (процесів, явищ), та *атрибутивної* частини (змістові (семантичні, тематичні)) характеристики. Робочим середовищем при роботі з просторовою інформацією є *проект*.

Проект у ГІС – спеціальний файл, де знаходиться організована певним чином просторова інформація.

Банк даних (БнД, databank, data bank) – інформаційна система централізованого збереження і колективного використання даних, що містить сукупність баз даних, СКБД та комплекс прикладних програм.

БнД називають локальним (local databank), якщо він міститься в одному обчислювальному центрі (ОЦ) або на одному комп'ютері, і розподілений (distributed databank), коли сукупність локальних БнД поєднується за допомогою мережевих серверів у систему.

Сукупність просторової й атрибутивної інформації про конкретну територію утворює картографічний банк даних. Картографічні банки даних іменуються також банками цифрових карт (БЦК).

15.2. Типи файлів бази даних

Організована у вигляді бази даних просторова інформація в ГІС, складається з файлів у таких можливих формах: *прості списки (невпорядковані файли), упорядковані послідовні файли та індексовані файли.*

15.2.1. Невпорядковані файли

Невпорядковані файли (списки) є найпростішою структурою, яка реалізує неупорядкований масив записів. Прикладом неупорядкованих файлів можуть слугувати записи у записній книжці, сукупність карт у картотеці, у тому разі, коли записи занотовуються до записної книжки або картотеки у певній послідовності (рис. 15.1) [15].

Єдиною перевагою такої структури файлу даних є те, що новий запис занотовується в кінець файлу.

Наявність такої картотеки дозволяє здійснити пошук будь-якого імені (атрибута), однак відсутність упорядкування карток робить процес пошуку досить тривалим, особливо у випадках, коли база даних включає велику кількість записів.

Наприклад, якщо для вибірки однієї картки потрібна одна секунда, а кількість карток становить 200 000, то пошук у середньому займе [Burroggh, 1983]:

$$\tau = \frac{(n+1)}{2} = \frac{(200000+1)}{2} = 27.7 \text{ годин},$$

де τ – кількість операцій;

n – кількість карток, що підлягає перебиранню.

Таким чином, для наведеного прикладу і даного розміру файлу (картотеки) пошук потрібної інформації може складати майже 28 годин.

15.2.2. Послідовно впорядковані файли

Послідовно впорядковані файли (*ordered sequential files*) мають певний *ключ* (літери або цифри), згідно з яким відбувається пошук даних (рис. 15.2) [15].

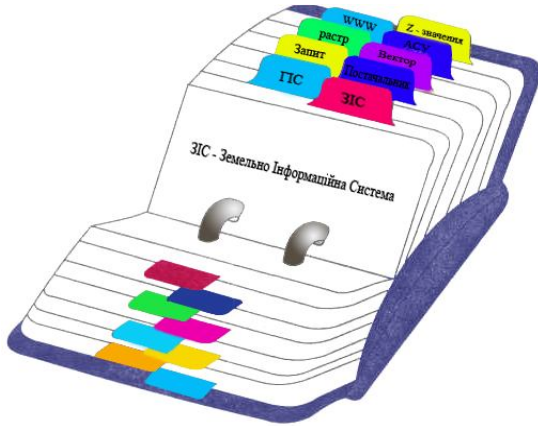


Рис. 15.1. Приклад невпорядкованого масиву даних

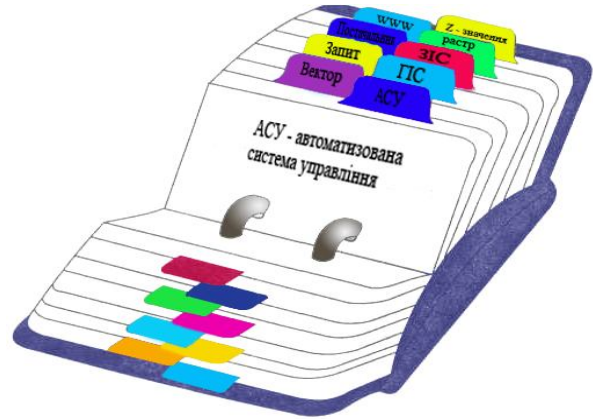


Рис. 15.2. Приклад послідовно впорядкованого масиву даних, де сортування виконується з використанням алфавіту

Зазвичай, для пошуку використовується *дихотомія* (пошук даних поділом файлу навпіл). Пошук починається поділом усього масиву записів на дві частини і вибіркою запису в середині. Якщо точка поділу виявляється тією, що потрібна, то процедура пошуку вважається закінченою. Якщо необхідний запис знаходиться раніше обраної точки, то спочатку виконується операція з першою половиною, якщо після – то з другою половиною.

Використання дихотомії не передбачає перегляду значної частини файлу. Середня кількість операцій у цій стратегії становить:

$$\tau = \log_2(n+1).$$

Для попереднього прикладу час пошуку становить трохи більше 2 годин, замість попередніх 28 [15].

15.2.3. Індексовані файли

У вищенаведених прикладах записи ідентифікувались і порівнювались за ключовим атрибутом – літерою, словом або ознакою. Стратегія пошуку була заснована на значеннях самих атрибутів. Оскільки в ГІС кожному об'єкту привласнюються певні семантичні характеристики (атрибути), то й пошук елементів здійснюється з певним набором атрибутів.

Кожний просторовий об'єкт ГІС може описуватись великою кількістю атрибутів, а сортування або пошук можна виконувати тільки одним способом. Тобто, якщо за одним атрибутом можна застосувати швидкий пошук поділу навпіл, то для всіх інших атрибутів доведеться виконувати виснажливий послідовний пошук. Потрібно знайти якийсь вихід, бо інакше доведеться пересортовувати файл для кожного запиту.

Вихід існує при застосуванні зовнішнього індексу, який будується таким чином: з вихідного файлу в новий копіюються значення одного атрибута для всіх записів разом із розташуванням цих записів. Тобто кожний запис у новому файлі складається зі значення атрибута й адреси запису у вихідному файлі, з якого це значення було взяте. Потім упорядковуються записи нового файлу, згідно зі значенням атрибута. Щоб знайти записи із заданим значенням атрибута у новому файлі, можна використати поділ навпіл. Знайшовши потрібні записи в індексному файлі, отримуємо адреси вихідного файлу, за яким можна отримати всі атрибути об'єктів.

Таким чином, для пошуку певних даних в основному файлі використовується додатковий індексний файл, що називається *зовнішнім індексом*, а сам вихідний файл стає *індексованим*. Це надає можливість вносити до індексованого файлу декілька атрибутів, значення яких дозволяють організувати пошук (рис. 15.3).

Використання зовнішнього індексу передбачає три умови:

- по-перше, потрібно знати заздалегідь критерій, за якими буде виконуватись пошук;
- по-друге, посилання на всі додавання у вихідний файл повинні поміщатись у відповідні місця індексних файлів, не порушуючи їх упорядкованості;
- по-третє, якщо не буде передбачений з якихось причин певний критерій пошуку, то доведеться використовувати послідовний перебір для отримання потрібної інформації [15].



Рис. 15.3. Індексована структура даних

15.3. Принципи організації даних у ГІС

Просторова організація інформації в ГІС застосовується на практиці у різних модифікаціях і поєднаннях [22; 42; 43; 45; 47; 55]. Існує два підходи до організації просторових даних у ГІС – *пошаровий (layer)*, який іноді називають класичним, та *об'єктно орієнтований*.

Зважаючи на те, що сучасні ГІС, як правило, є динамічними системами, виникає потреба коректної організації інформації в часовому інтервалі. Характеристика і визначення часу спричиняють найбільші проблеми. Часто важливим є відносний, а не абсолютний час спостереження (тобто послідовність, у якій виникають явища). У цьому разі необхідний результат досягається впорядкуванням даних, а не фіксацією абсолютного часу.

ГІС дає змогу реалізувати ретроспективне відновлення динаміки просторових процесів у вигляді створення динамічних рядів і карт розподілу. Для цього необхідне визначення раціональної глибини ретроспекції і вибору оптимального кроку дискретизації даних (часової розрізненості системи). Крок дискретизації в часі може відрізнятися на багато порядків (в десятки і сотні разів) для різних типів даних і мати обмеження, пов'язані як з інструментальною частотою спостережень, так і з природним ходом процесів. Тому необхідна така просторова організація даних, яка б передбачала можливість різної розрізненості (реалізованої в побудові регулярних ієрархічних мереж), – ієрархічна система часової розрізненості [86].

15.3.1. Пошаровий принцип організації даних

Пошарова організація збереження просторових даних є найбільш поширеною технологією в ГІС. Сутність цієї організації полягає в тому, що однорідна просторова й атрибутивна інформація про певну територію подається у вигляді тематичних шарів (*over lay* – покриттів, тем, пластів). Поділ інформації на шари є інтуїтивно зрозумілим і легко співвідноситься із загальноприйнятими принципами використання прозорих кальок-накладок при роботі з паперовими картами.

Шар (*layer, theme, coverage, overlay*) – *сукупність однотипних (однієї мірності) просторових об'єктів, що відносяться до однієї теми (класу об'єктів) у межах певної території і в системі координат, яка є загальною для цього набору шарів.*

Покриття (*coverage*) – *цифрова модель одиниці збереження бази векторних даних ГІС, яка зберігає у вигляді записів усі об'єкти первинного (точки, дуги, полігони) і вторинного (координати опорних точок, анотації тощо) рівнів певного просторового об'єкта, а також структуру відношень між ними, зокрема топологічну.*

Покриття визначається в контексті його змістової визначеності (рослинність, рельєф, адміністративний поділ тощо) або його статусу в середовищі редактора (активний шар, пасивний шар). Покриття може бути порожнім.

Порожнє покриття – покриття, в якому відсутні будь-які просторові об’єкти.

Шари (покриття) поєднуються в цифрові карти. Карти можуть не підтримувати у своїй структурі покриття, однак у цьому разі беруть частину або всі функції покриттів на себе.

Шар однорідний не тільки за тематикою, але й за типам об’єктів. Кожний тематичний шар містить об’єкти певного виду, що поєднуються загальними характеристиками. Шар даних (тема) відповідає логічній сукупності просторових об’єктів із загальними характеристиками. Кожний шар / тема визначається наступними умовами: об’єкти одного класу, однаковий набір полів. Геометричний тип об’єкта визначає 6 класів шарів або тем (рис. 15.4).

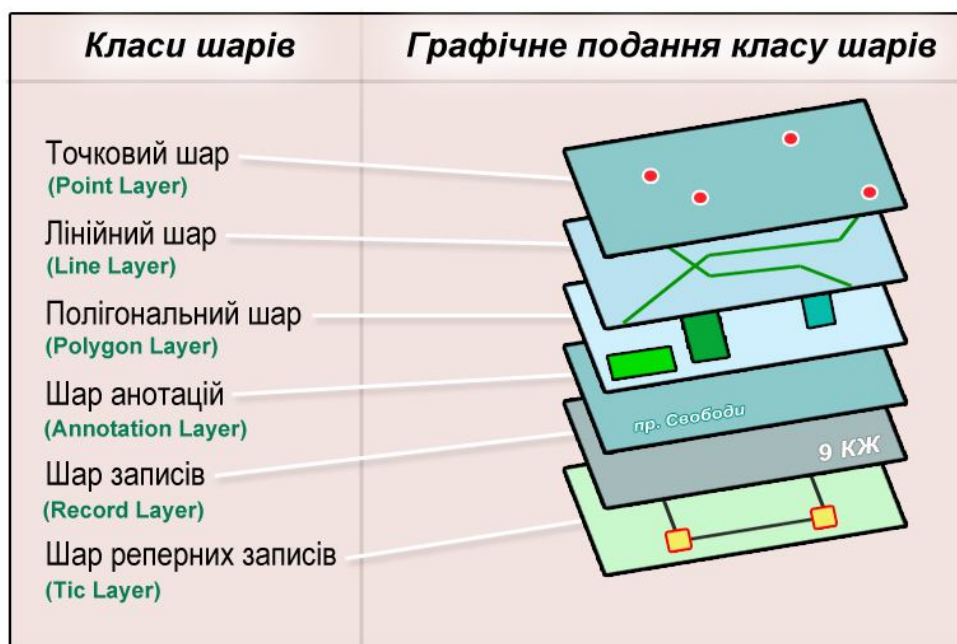


Рис. 15.4. Визначення тематичних шарів

Концепція пошарового подання графічної інформації запозичена із систем автоматизованого проектування (CAD-систем), однак у ГІС вона набула якісно нового розвитку. Принципова відмінність полягає в тому, що шари в ГІС можуть бути як векторними, так і растровими, причому векторні шари обов’язково повинні мати одну з трьох характеристик векторних даних, тобто векторний шар повинен бути визначений як точковий, лінійний або полігональний додатково до його тематичної спрямованості.

В табл. 15.1 наведено приклади деяких шарів даних із типової ГІС муніципального управління [86].

Таблиця 15.1

Приклади шарів даних

Назва шару	Об'єкти реального світу	Геометричний тип об'єкта	Атрибути користувача
Осі вулиць	Міські вулиці	Лінійний	Назва, клас вулиці
Дорога	Проїжджі частини вулиць	Полігональний	№, площа, ширина
Квартали	Квартали міста	Полігональний	Щільність забудови
Будівлі житлові	Будівлі	Полігональний	Кількість поверхів, кількість квартир, кількість мешканців
Будівлі промислові	Будівлі	Полігональний	Висота, об'єм
Земельні ділянки	Зонування	Полігональний	Код ділянки, площа, тип землекористування
Залізниця	Основні залізничні лінії	Лінійний	Назва залізниці
Лінії газозабезпечення	Система газозабезпечення	Лінійний	Діаметр, тиск, довжина
Лінії водозабезпечення	Система водозабезпечення	Лінійний	Діаметр, матеріал, довжина
Колодязі водозабезпечення	Система водозабезпечення	Точковий	Позначка верху, глибина, запірний пристрій
Скарги на каналізацію	Місця розташування аварійних ділянок каналізації	Точковий	Адреса, дата, код аварії

Інша важлива відмінність пошарового подання векторних даних полягає в тому, що вони є об'єктними, тобто містять інформацію про об'єкти, а не про окремі елементи об'єкта, як у САПР.

В ГІС виділяють *вертикальну* і *горизонтальну* пошарову організацію даних.

Вертикальна пошарова організація даних. Розуміння шарів просторових даних як вертикальної форми організації даних представлено в [22, с. 57]. Інструментом просторового взаємозв'язку шарів по вертикалі є єдина для усіх шарів система координат для визначення просторових об'єктів.

Сукупність шарів утворює інтегровану основу графічної частини ГІС (рис. 15.5).

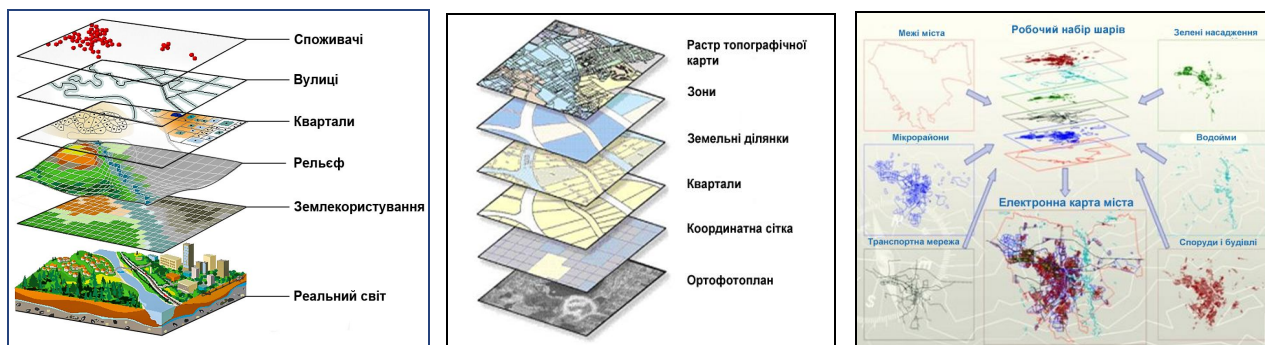


Рис. 15.5. Пошарова організація даних у ГІС

Належність об'єкта або частини об'єкта до шару дозволяє використовувати і додавати групові властивості об'єктам даного шару. А як відомо з теорії обробки даних, саме їх *групову обробку є основою підвищення продуктивності автоматизованих систем.*

Пошарова організація електронної карти за наявності гнучкого механізму управління тематичними шарами дозволяє об'єднати та відобразити не тільки велику кількість інформації, на відміну від звичайної карти, але й істотно спростити аналіз картографічних даних за допомогою селекції, необхідної для візуалізації та механізму "прозорості" цифрової карти. Поділ інформації на тематичні шари дозволяє розв'язувати завдання типізації і розбивки даних на типи, підвищувати ефективність інтерактивної обробки і групової автоматизованої обробки, спрощувати процес збереження інформації в базах даних, включати автоматизовані методи просторового аналізу на стадії збору даних і при моделюванні, спрощувати розв'язання експертних задач.

Введення топологічних властивостей у графічні дані ГІС дозволяє розв'язувати задачі, які методами програмного забезпечення САПР взагалі не реалізуються. Наприклад, це можливість накладення шарів для отримання нового шару, який є не просто результатом накладання, а містить нові об'єкти, отримані на основі методів просторового аналізу з використанням логічних операцій. Крім того, пошаровий спосіб подання інформації дозволяє дрібні території, які зазвичай відповідають аркушам карти, комбінувати у більші одиниці (досліджувані ділянки).

В деяких ГІС у шарі можуть міститися об'єкти одного типу, а не однієї теми, наприклад, шари точкових, лінійних чи полігональних об'єктів. Інколи в шарі можуть бути об'єкти різні і за типом, і за темою. Однак найпоширенішим випадком все ж залишається логічний поділ на шари, коли кожен шар визначається як за тематикою, так і за типом, що допомагає організувати споріднені об'єкти шляхом мінімізації числа зв'язків.

Працюючи в ГІС, користувач може підключати і відключати тематичні шари, змінювати порядок їх відображення, згідно зі своїми потребами. Кожний шар (пласт) карти містить інформацію, яка відноситься до однієї або декількох тем. Наприклад, для задач планування розвитку міської території такий набір може включати дані про вулиці, міські інженерні мережі, об'єкти транспортної інфраструктури, різні типи зонування міської території, землеволодіння, нерухомості тощо.

На рівні шарів здійснюються пошук, завантаження і вивантаження даних у середовище ГІС. До об'єктів шару застосовуються функції пошуку, форматування, зміни графічних змінних.

Кожний тематичний шар характеризується такими властивостями:

– *видимістю* (visible) – підключається чи відключається відображення певного шару на екрані (при цьому шар залишається в оперативній пам'яті та бере участь в усіх інших дозволених операціях). Крім цього, є функції відображення шару залежно від масштабу екранного подання, задаються найменший і найбільший масштаби, за яких шар є видимим на екрані; включається чи виключається відображення службової інформації для окремих об'єктів шару – опорних точок, центроїдів полігонів, напрямків ліній тощо;

– *редагованістю* (editable) – у шар, що редагується, дозволено вносити зміни за допомогою всіх доступних інструментів створення і редагування форми об'єктів, а також змінювати графічні змінні об'єкти. Зазвичай, можна редагувати тільки один шар;

– *участю в запитах* (selectable) – з шару можна отримувати атрибутивну інформацію за допомогою різних засобів побудови запитів, в іншому разі всі запити ігноруються;

– *можливістю автоматичного друку пояснювальних написів* (auto label, labeled) – у відповідному шарі включається режим автоматичного друку пояснювальних написів для картографічних об'єктів, наприклад, назв країн, міст, вулиць. За замовчуванням для напису береться вміст першого текстового поля з атрибутивної бази даних, є можливість налаштування на будь-яке інше поле бази даних або використання як напису результату обчислень (злиття фрагментів тексту) у декількох полях. Так само може задаватися формат відображення напису – шрифт, розмір і колір шрифту, прив'язування до центра точки, лінії чи полігона (у центрі або збоку, зі зсувом вниз чи вгору). Задається метод контролю накладання і дублювання

написів (наприклад, написи не можуть накладатися один на одного за певного масштабу, не може бути двох однакових написів тощо).

Для відображення службової інформації поверх усіх відкритих шарів даних може створюватись "косметичний" шар. Вміст "косметичного" шару існує до того часу, поки залишається відкритим базовий шар, відносно якого виводиться службова інформація. За потреби "косметичний" шар може бути збережений у вигляді окремого файлу даних.

Спеціальні шари утворюються при створенні тематичних карт, вони прив'язані до шару, на основі якого була створена тематична карта. Переміщення за списком накладення шарів базового шару зумовлює переміщення і похідного тематичного шару.

Інформаційні компоненти тематичного шару можуть бути *зовнішніми* (векторні та растрові шари, таблиці, бібліотеки символів) або *внутрішніми* (спеціальні типи шарів, запити, карти, макети друку тощо).

Сучасні технології введення просторових даних у ГІС, їх інтерпретації та збереження передбачають поелементний поділ змісту існуючих карт (дані про рельєф, гідрографічну мережу, населені пункти, дорожню мережу, адміністративні межі тощо). Для забезпечення зручності збереження й обробки великих наборів даних кожний із тематичних шарів додатково може бути поділений на *фрагменти*. Зазвичай поділ на фрагменти успадковує прийнятту схему розграфлення карт (за окремими аркушами топокарт, градусною сіткою тощо). Логічна нерозривність отриманого фрагментованого шару забезпечується засобами, що підтримують безшовні бази даних. Після операції "фрагментування" (tiling) при наступному відображенні на екрані комп'ютера ГІС надають можливість виконувати зворотні операції – "зшивання".

З урахуванням того, що банк картографічних даних у ГІС може включати сотні шарів однорідної просторової інформації, це відкриває широкі можливості для побудови первинних оригіналів поелементних карт на основі шарів однорідних картографічних даних.

У разі збігу систем координат можливе багаторазове накладення картографічних шарів як у векторному, так і растровому форматі.

Оскільки растрові карти непрозорі, то вони використовуються як основа на задньому плані комбінованого векторно-растрового зображення.

Кількість одночасно виведених на екран картографічних шарів обмежується тільки ресурсами комп'ютера.

Для забезпечення контролю й управління візуалізацією картографічних шарів у ГІС існують спеціальні інструменти (функції відкриття і закриття одного шару, відкриття і закриття групи шарів, закриття усіх раніше відкритих шарів тощо). За одночасного відкриття й перегляду декількох шарів необхідно впорядковувати їх взаємне розташування і перекриття. В екранних вікнах, що керують відображенням шарів, можна побачити

розміщення окремого шару порівняно з іншими шарами, а також покроково перемістити обраний шар нагору або вниз усієї сукупності шарів.

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

При створенні нового проекту необхідно створити нові або підключити раніше створені тематичні шари. Векторні шари (що містять точкові, лінійні або площинні об'єкти) можуть створюватись безпосередньо в середовищі ГІС або в інших програмних середовищах (наприклад, це може бути креслення в обмінному або двійковому форматі AutoCAD).

У шари можуть бути завантажені растрові зображення різних форматів (які використовуються в цифровій картографії). З кожним векторним шаром може пов'язуватись таблиця характеристик, що зберігається з векторним шаром, і набір таблиць з атрибутивними (тематичними) даними, які зберігаються у зовнішній СКБД (рис. 15.6).

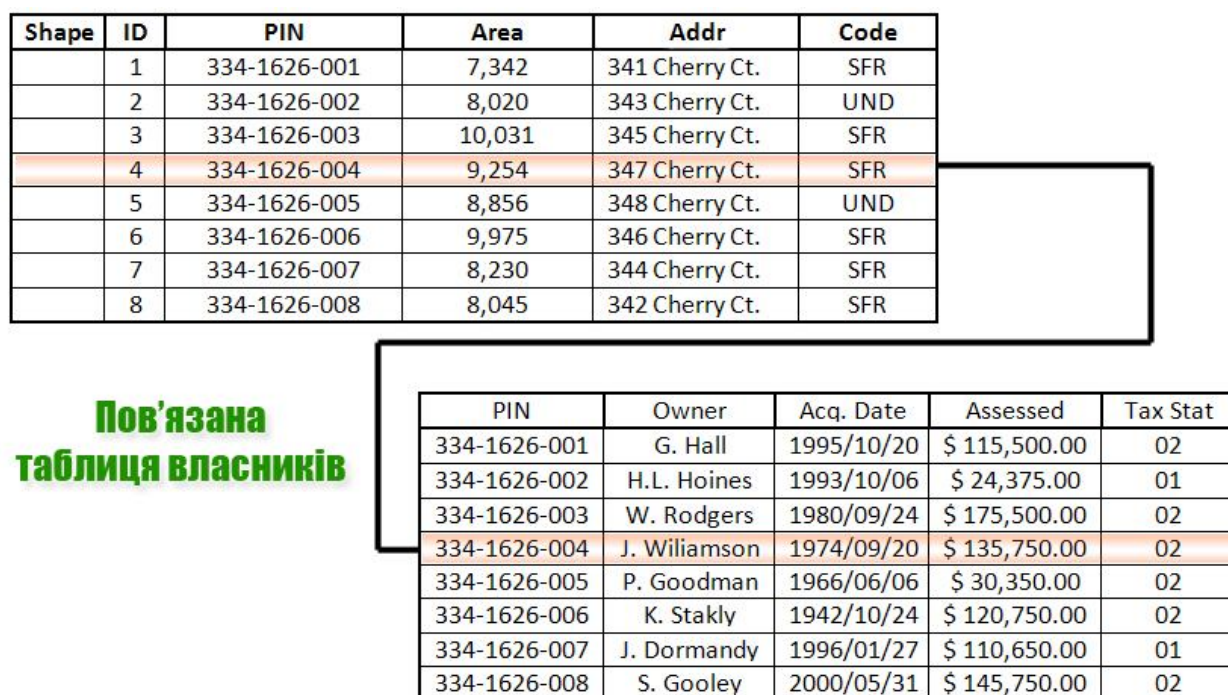


Рис. 15.6. Зв'язок таблиці шару з внутрішньою таблицею СКБД по полю PIN

Для кожного шару можна визначити такі об'єкти бази даних:

- запити до атрибутивних таблиць;
- теми (варіанти тематичного картографування шару);
- форми подання довідкової інформації про об'єкти;
- діаграми (подання результатів у вигляді різноманітних графіків);
- макроси – зовнішньо виконувані програми або внутрішні функції

ГІС (задаються користувачем для карти в цілому, для тематичного шару або для окремих об'єктів).

Пошарова організація даних припускає, що тематичні шари в просторі по-перше, не мають розривів, по-друге, що скрізь існує певна інформація – навіть "відсутність об'єкта" або "немає даних про наявність чи відсутність об'єкта".

Тематика шару необов'язково повинна відповідати тематичному поділу. Наприклад, хоч шосе і річка є лінійними об'єктами карти, немає ніякого сенсу зберігати їх в одному й тому ж тематичному шарі. Атрибути річки можуть містити назву, класифікацію витрат води, тоді як атрибути дороги – найменування і тип покриття. Отже, атрибути доріг і річок різні. Оскільки атрибути різні, вони мають зберігатись у різних шарах, створених для однієї і тієї ж ділянки.

Тематичні шари для однієї ділянки є "вертикальними" шарами (рис. 15.7).

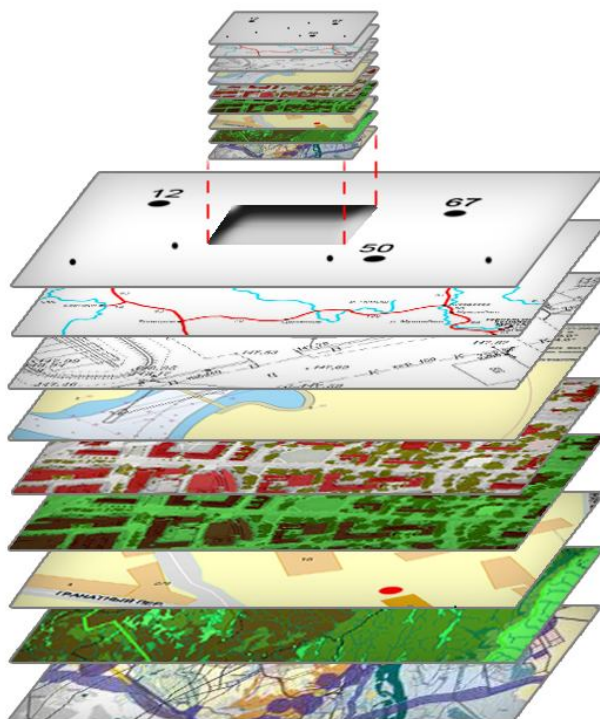


Рис. 15.7. Вертикальне подання тематичної інформації

Кількість, тематику та зміст шарів, як правило, визначають на етапі формування проекту. Визначаючи об'єктний зміст шарів, ураховують склад завдань, які буде розв'язувати ГІС, тому що сконцентрована інформація для одного випадку не буде обов'язково корисною для іншого. Наприклад, використовуючи технологію, орієнтовану на якісний та кількісний облік земель, доцільно всю контурну топографічну інформацію зібрати в одному шарі (темі), а розв'язуючи завдання, пов'язані з плануванням доріг або управлінням руху автотранспорту, інформацію про мережу доріг і населені пункти слід розміщувати в окремих шарах.

Також повинен бути визначений пріоритет введення або цифрування просторових даних шарів. Це є обов'язковим, оскільки часто один шар даних містить просторові об'єкти, які співпадають з іншими. Наприклад, озера можуть бути використані для визначення полігонів у шарі даних лісового кадастру. Шари, зазвичай, визначаються розробником, виходячи з потреб користувачів й доступності даних. Визначення шарів може відрізнитися залежно від потреб ГІС. Наприклад, кількість шарів у діючій регіональній ГІС може вимірятися декількома сотнями.

Доцільно створювати таку кількість шарів, яку можна виділити з елементарних тематичних груп інформації. Однак такий підхід не завжди виправданий, оскільки для того щоб в подальшому була можливість отримання інтегрованої інформації щодо перетину декількох шарів, виникає потреба в топологічних оверлеях, і їх буде тим більше, чим більше шарів було заведено. З іншого боку, внесення всієї інформації в один шар також є не найкращим рішенням, тому що, по-перше, зміна інформації в одній тематичній групі може викликати потребу корегування усього шару, по-друге, під час розв'язання окремих завдань не тільки немає потреби використовувати всю наявну інформацію, але й навпаки, її надмірна кількість може суттєво ускладнити роботу і спричинить потребу вичленування із шару певної надлишкової частини інформації та перенесення її в інший шар.

Сукупність шарів (мультишарів) утворює інтегровану основу графічної частини ГІС. Для створення баз даних суміжні покриття мають бути помічені однаковими реєстраційними точками, так званими *реперами* (benchmark), уздовж спільної межі. Ці спільні реєстраційні точки повинні мати однакові значення ідентифікаторів.

Репери – це реєстраційні точки, які визначають положення точок на земній поверхні, для яких відомі їх реальні координати.

Найкраще розробити і використовувати номенклатурну систему, яку варто застосовувати для всієї графічної бази.

Шари, які являють собою логічні набори об'єктів для одних і тих же ділянок, мають реєструватися один за одним по вертикалі. Два шари будуть зареєстровані, якщо можна позитивно відповісти на такі питання:

- чи вимірюються шари в однакових одиницях?
- чи знаходяться шари в одній координатній системі?
- чи мають спільні реєстраційні точки однакові ідентифікатори?
- чи викреслюються шари один над одним?

Шарова організація карти дозволяє:

- спростити аналіз картографічної інформації;
- виконувати тематичні або просторові вибірки;
- виконувати аналіз тощо.

У результаті аналізу тематичних шарів, що відображає "сирі" дані про об'єкти, будуються нові шари, згідно із завданням дослідження. Оскільки

шар містить графічні образи, таблиці, числа, рядки, то така неоднорідність істотно ускладнює застосування звичайних СКБД, розрахованих на жорстку логічну структуру інформації, що зберігається у вигляді записів. Зрозуміло, що цю умову для ГІС виконати неможливо.

Обхідний шлях передбачає поділ даних на однорідні групи з подальшим розміщенням у різних файлах, що негативно впливає на ефективність роботи. Крім того, ускладнюється введення нових типів даних і модернізації існуючих.

Поділ інформації на тематичні шари дає змогу:

- розв'язувати завдання типізації і розподілу даних на типи;
- підвищувати ефективність інтерактивного і групового автоматизованого опрацювань;
- спростувати процес збереження інформації в базах даних;
- включати автоматизовані методи просторового аналізу на стадії збору даних і під час моделювання;
- спростувати розв'язання експертних завдань тощо.

Підсумовуючи наведене, можна зробити висновок, що *пошарове подання картографічної інформації надає широкі можливості аналізу картографічних даних.*

Зазвичай у ГІС за один раз вводиться один шар даних. Шар даних буде повністю завантажений, коли будуть виконані графічні перетворення, редагування, топологічні побудови, трансформації атрибутів, зв'язування, а також перевірки перед тим, як буде запущений наступний шар даних.

Тому існує декілька етапів повного завантаження шару даних.

Більшість геоінформаційних проектів інтегрують шари даних для створення похідних тем або шарів, які становлять результат якогось обчислення або географічної моделі, наприклад, вартості лісів, придатності використання земель тощо.

Похідні шари цілковито залежать від цілі проекту. Кожний шар даних, інтегрований в індивідуальному порядку, топологічно буде вихідним для створення комбінованих даних шарів. Окремі функції аналізу даних можуть бути здійснені, ґрунтуючись на моделі даних, наприклад, растровій або векторно-топологічній структурі. Важливо відзначити, що у векторній ГІС топологічна структура визначається тільки за допомогою унікальних міток для кожного просторового об'єкта.

Залежно від конкретної реалізації ГІС кількість шарів при пошаровій організації даних може обмежуватись, а може й не обмежуватись.

При пошаровій організації даних дуже зручно маніпулювати великими групами об'єктів, представлених шарами, як єдиним цілим, наприклад, включаючи або виключаючи шари для візуалізації, визначати операції, що ґрунтуються на взаємодії шарів. В цілому ж можна стверджувати, що *пошарова організація даних має великі аналітичні можливості.*

Об'єкти, віднесені до одного шару, утворюють певну фізично окрему одиницю даних. Вони збираються в один файл або в одну директорію, вони мають єдину і відмінну від інших шарів систему ідентифікаторів, до них можна звертатися як до якоїсь множини. З однієї теми може бути передбачено декілька шарів різного масштабу і відповідно різної точності або різних часових інтервалів. Ця ідея також використовується для логічного упорядкування даних у більшості геоінформаційних програм.

Горизонтальна пошарова організація даних. При розробці логічної моделі даних із використанням реляційної моделі може знадобитися горизонтальний поділ одного тематичного шару, який отримав назву "*бібліотека карт*". Це робиться, головним чином, через зручність адміністрування баз даних і щоб уникнути роботи з занадто великими файлами. Внутрішня організація шарів даних у горизонтальній формі в ГІС отримала назву *просторового індексування* [57].

Аркуші (теми) в бібліотеці карт дають змогу легко оновлювати й зберігати дані шляхом просторового поділу. Одночасно можна аналізувати, запитувати та відображати операції на базі даних усього регіону.

Кожен з аркушів бібліотеки має починатися з порожнього стандартизованого шару-основи, який може включати кордон досліджуваної ділянки (екстент, extent) та розташування реєстраційних точок. Ці шари-основи важливі для автоматизації. Вони гарантують, що суміжні аркуші будуть збігатися, а не перекриватись при їх поєднанні, або відображатися один біля одного. Реєстраційні точки, які мають один і той же ідентифікатор, будуть мати одне й те ж місцезнаходження. Якщо реєстраційні точки відсутні, то необхідно, щоб координати об'єкта в місці розриву суміжних аркушів збігалися, бо їх невідповідність призведе до неможливості автоматичного стикування, а це стане причиною збільшення ручних робіт.

Векторні ГІС використовують просторові індекси для більш швидкого доступу до об'єктів на певній ділянці карти. Індекссування просторових об'єктів дозволяє зменшити обчислювальну складність процедур пошуку вкладених об'єктів або об'єктів, що перетинаються, тому індекси є важливою частиною алгоритмів накладення полігонів.

Просторове індексування – це метод використання програмного забезпечення для збереження й отримання просторових даних. Існують різні підходи для прискорення процесу пошуку просторових об'єктів у межах програмного продукту ГІС. Більшість із них пов'язані з розподілом географічної ділянки на керовані підмножини або блоки. Ці блоки потім індексуються математично, наприклад, методом розбивки квадродерева або побудови R-дерева, щоб забезпечити швидкий пошук і витяг при запиті за ініціативою користувача. Просторове індексування аналогічне визначенню аркушів карти, за винятком того, що конкретні методи індексування

використовуються для доступу до даних через карту меж аркушів (блоків). Це робиться для підвищення продуктивності запитів для великих наборів даних, які охоплюють декілька аркушів карти, а також для забезпечення цілісності даних за допомогою меж аркушів карти.

Метод і процес просторового індексування зазвичай є прозорим для користувача. Незважаючи на це, він є надзвичайно корисним при використанні особливо великих об'ємів даних. Поняття просторової індексації відіграє все більш важливу роль у розробці великомасштабних додатків із використанням ГІС. Наприклад, якщо інформацію про дорожню мережу певного району можна виразити у вигляді таблиць з номерами доріг за зазначеним класифікатором і множиною числових характеристик або представити цю ж інформацію у вигляді карти, де дороги відображені у вигляді ліній, а пов'язані з ними числові характеристики (ширина, кількість смуг руху, тип покриття тощо) виражені у вигляді умовних знаків (тип лінії, колір, товщина). Поділ інформації на фізичному рівні може повністю не відповідати її поділу на концептуальному рівні, наприклад, фізично згрупована в один шар інформація може представляти декілька різноманітних тематичних прошарків для користувача. Такий розподіл різних рівнів організації даних досить зручний для практики.

Тематичні шари карт можуть поєднуватись, утворюючи базу даних (бібліотеку карт) (рис. 15.8).

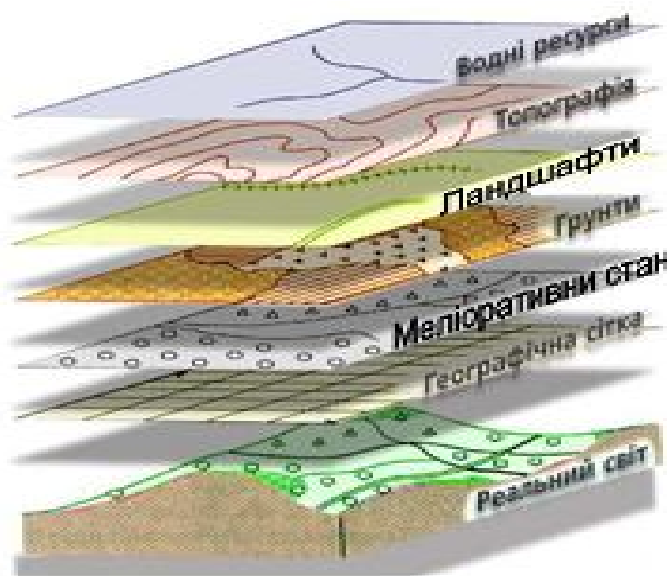


Рис. 15.8. Створення бібліотеки тематичних карт

Важливо відзначити, що растрові системи за характером своєї структури даних зазвичай не вимагають методу просторового індексування.

Растровий підхід накладає регулярні, легко адресовані розділи за даними навколишнього світу нерозривно з їх структурою даних. Таким

чином, просторова індексація, як правило, не потрібна. Однак у більш складних векторних ГІС потрібен спосіб швидкого отримання просторових об'єктів.

15.3.2. Об'єктно орієнтований принцип організації даних

Складність реального світу та його пізнання вимагають розвитку відповідних методів і засобів, у тому числі й у ГІС. У свою чергу розвиток ГІС пов'язаний із потребою спільної обробки зростаючих обсягів просторової й непросторової інформації, розробки більш складних процесів обробки взаємопов'язаної різнопланової інформації, інтеграції цієї інформації у взаємодії з іншими, різними за призначенням системами. Додаткові вимоги в частині знаходження оптимальних (раціональних) рішень, зручності, продуктивності, надійності та вартості також потребують розробки і розвитку адекватних моделей. Поширення потужних персональних комп'ютерів створило у 90-х рр. ХХ ст. основу для широкого застосування об'єктно орієнтованого підходу в практиці проектування та програмування інформаційних систем. Нова методологія орієнтована на подолання складності, пов'язаної з розробкою програмних засобів, на створення великих складних систем, колективну їх розробку, наступний активний супровід при експлуатації і регулярні модифікації [50].

Об'єктно орієнтована модель розширює можливості застосування ГІС для максимального спрощення створення інтелектуальних просторових об'єктів, які відображають взаємодію і поведінку об'єктів реального світу. За цим принципом організації даних групування об'єктів відповідає їх логічним взаємозв'язкам. Об'єктно орієнтований принцип організації даних в ГІС фокусує увагу не стільки на загальних властивостях об'єктів (що моделюються через поділ на тематичні шари в попередньому підході), а на їх положенні у певній складній ієрархічній схемі класифікації і на взаємовідношеннях між об'єктами. В силу цього зручно відображаються різні родинні і генетичні відношення між об'єктами, відношення співвідпорядкованості, функціональні зв'язки між об'єктами.

Об'єктно орієнтований підхід у ГІС базується на моделях, підходах і термінах об'єктно орієнтованих баз даних та об'єктно орієнтованого програмування, але має свої специфічні риси: зберігання просторових і семантичних даних в одній базі даних; зберігання форми просторового об'єкта; топологічно зберігає інтегровані набори класів об'єктів тощо. У ньому відсутній поділ інформації на тематичні шари, точніше групування об'єктів у тематичні шари, з якими можна маніпулювати як з тематичними картами. Групування здійснюється більш складним чином, згідно з логічними

взаємозв'язками між ними, з побудовою ієрархій, які відповідають їх найбільшим загальним властивостям. Такий підхід наближений до структури людського мислення. Він ефективний, коли необхідне використання логічних взаємозв'язків об'єктів, але малоефективний при безперервному розподілі у просторі ознак (побудові рельєфу, оцінці питомого вмісту корисної копалини, забрудненні ґрунту важкими металами тощо).

В основі об'єктно орієнтованої методології лежить об'єктний підхід, при якому предметна прикладна сфера подається у вигляді сукупності об'єктів, які взаємодіють між собою за допомогою передачі повідомлень [37].

Об'єкт – сутність (реальна або абстрактна), що має стан, поведінку та індивідуальність.

Стан об'єкта характеризується його структурою, переліком усіх можливих властивостей та значеннями кожної з цих властивостей.

Поведінка об'єкта (функціональність) – характеристика того, як об'єкт взаємодіє з іншими об'єктами або піддається взаємодії інших об'єктів, виявляючи свою індивідуальність.

Поведінка об'єкта реалізується у вигляді функцій, які називають методами. При цьому структура об'єкта є доступною тільки через його методи, які в сукупності формують інтерфейс об'єкта.

Індивідуальність об'єкта – властивості об'єкта, що відрізняють його від усіх інших об'єктів.

Для об'єктно орієнтованої методології особливий інтерес становлять два типи ієрархічних співвідношень об'єктів:

– *зв'язки*, що позначають рівноправні відношення між об'єктами; об'єкт співпрацює з іншими об'єктами через зв'язки, що з'єднують його з ними;

– *агрегація*, яка описує відношення цілого і частини, що приводять до відповідної ієрархії об'єктів. Об'єкти утворюють мінімальні одиниці інкапсуляції.

Інкапсуляцією називається спосіб об'єднання структури і поведінки в одному місці (начебно в "капсулі") та приховання усіх даних усередині об'єкта, що робить їх невидимими для усіх, за винятком методів самого об'єкта.

В об'єктно орієнтованій моделі об'єкти інкапсулюють атрибути і лінії поведінки. Доступ до даних, що містяться в об'єкті, можливий тільки відповідно до ліній поведінки об'єкта.

Інкапсуляція захищає дані від ушкодження іншими об'єктами, а також закриває внутрішні деталі об'єктів від іншої системи. Інкапсуляція також забезпечує ступінь незалежності даних, щоб не виникало потреби змінювати об'єкти-відправники або об'єкти, що отримують

повідомлення, при їх взаємодії з об'єктом, поведінка якого змінилася. Інкапсуляція – це сутність об'єктно орієнтованої моделі.

Одне з ключових понять об'єктно орієнтованого підходу – поняття класу.

Клас – множина об'єктів, що мають спільну структуру і спільну поведінку. Саме клас спочатку описує змінні і методи об'єкта, тобто структуру і поведінку об'єкта. Будь-який конкретний об'єкт – це екземпляр класу. Об'єкти, не пов'язані спільністю структури і поведінки, не можна об'єднати в клас, оскільки за визначенням вони нічим не пов'язані між собою.

Істотними є такі типи відношень між класами:

– відношення "узагальнення спеціалізація" (загальне і часткове) відбиває ступінь загальності, відношення "ціле-частина" відбиває агрегування об'єктів;

– відношення "асоціація" відбиває змістовий зв'язок між класами, які не пов'язані ніякими іншими типами відношень;

– спадкування – це таке відношення між класами, коли один клас повторює структуру і поведінку іншого класу (одиначне спадкування) або інших (множинне спадкування) класів.

Клас, структура і поведінка якого успадковуються, називається суперкласом.

Похідний від суперкласу клас називається підкласом.

Це означає, що спадкування встановлює між класами ієрархію загального і часткового.

Відношення описують те, як об'єкти асоційовані один з одним.

Вони визначають правила створення, зміни та видалення об'єктів. Існує декілька видів відношень, які можуть використовуватися в об'єктно орієнтованій моделі даних.

Спадкування – дозволяє одному класу успадковувати атрибути та лінії поведінки одного або декількох інших класів. Клас, що успадковує атрибути і лінії поведінки, відомий як підклас. Батьківський клас називається суперкласом. Крім успадкованої ними лінії поведінки, підкласи можуть додавати або перевизначити успадковані атрибути і лінії поведінки.

Суперклас – це генералізація його підкласів, а підклас – це уточнення свого суперкласу. Наприклад, будинок – це уточнення будівлі, а будівля – це генералізація будинку. Клас будинків може успадковувати атрибути і лінії поведінки класу будівель, такі як кількість поверхів, кімнат та тип споруди.

Асоціація – загальні відношення між об'єктами. Кожна асоціація може також мати асоційовану з нею множинність, яка визначає кількість об'єктів, асоційованих з іншим об'єктом. Наприклад, асоціація може

свідчити, що "власник" об'єкта може мати один або багато будинків. Об'єднання (агрегування) і композиція – це особливі типи асоціацій.

Об'єднання (агрегування) – визначений тип асоціації. Об'єкти можуть містити інші об'єкти, тому об'єднання – це просто набір різних класів об'єктів, зібраних в один клас, який стає новим об'єктом. Класи об'єктів можуть збиратись в об'єднаний клас. Наприклад, об'єднаний клас "Земельно-майновий комплекс" може бути створений шляхом об'єднання класів "Земельна ділянка" і "Будинки". Ці нові складені об'єкти є важливими, оскільки вони, на відміну від простих об'єктів, спроможні представляти більш складні структури.

Композиція – ще одна спеціальна форма асоціації. Це більш сильний асоціативний взаємозв'язок, при якому життя "вмісту" класів об'єктів керує життям "змістового" класу об'єктів (контейнера). Наприклад, будинок складається з основи, стін та даху. Якщо видалити будинок, то автоматично видалиться його основа, стіни і дах, але не його символ.

Об'єктно орієнтована технологія ґрунтується на об'єктній моделі.

Основними принципами, на яких будуються об'єктні моделі, є: абстрагування, інкапсуляція, модульність, ієрархічність, типізація, паралелізм та збережуваність.

Абстракція виділяє істотні характеристики якогось об'єкта, які відрізняють його від усіх інших видів об'єктів і, таким чином, чітко визначає його концептуальні межі з точки зору спостерігача.

Інкапсуляція – це процес відділення один від одного елементів об'єкта, які визначають його устрій і поведінку; інкапсуляція слугує для того, щоб ізолювати контрактні зобов'язання абстракції від їх реалізації.

Модульність – це властивість системи, яка була розкладена на слабо внутрішньо пов'язані між собою модулі.

Ієрархія – це ранжування абстракцій, розташування їх за рівнями.

Типізація – це спосіб захисту від використання об'єктів одного класу замість іншого або, у крайньому разі, керування таким використанням.

Паралелізм – це властивість, яка відрізняє активні об'єкти від пасивних.

Збережуваність – здатність об'єкта існувати у часі, переживаючи процес, що його породив, і (або) у просторі, переміщаючись зі свого первісного адресного простору.

Об'єктно орієнтована модель бази геоданих має низку переваг:

- забезпечує комплексне подання реального світу;
- модель є інтуїтивною, оскільки в ній використовуються об'єкти, що існують у реальному світі;

– інкапсуляція, що об'єднує атрибути і лінії поведінки об'єкта, робить можливим доступ до об'єкта за допомогою чітко визначеного набору методів та атрибутів без знання змісту об'єкта;

– забезпечує високий рівень цілісності даних (нові дані повинні відповідати правилам поведінки);

– забезпечує моделювання складних відношень між даними;

– підтримує множинні рівні генералізації, об'єднання і асоціації;

– добре інтегрується з методами імітаційного моделювання;

– має функцію підтримки версій для одночасного множинного оновлення;

– вимагає меншого кодування в ГІС-програмах, що означає меншого внесення помилок і більш низьку вартість підтримки.

В об'єктно орієнтованій моделі даних є також і деякі недоліки:

- комплексні моделі реального світу складніше розробляти і будувати;

- великі та комплексні моделі виконуються повільніше;

- ця модель залежить від ретельності опису явищ реального світу (що особливо складно у світі природи);

- аналіз об'єктно орієнтованих баз даних вимагає використання об'єктно орієнтованих мов програмування;

- деякі бізнес-додатки можуть не мати доступу до об'єктно орієнтованої бази даних або можливості передачі до неї даних.

Аналіз сучасного розвитку ГІС свідчить про те, що:

– системи з єдиним способом організації даних є радше винятком, ніж правилом;

– не існує єдиного й універсального способу ефективної просторової організації даних; у будь-якому разі необхідна повнота подає і зручність операцій досягаються використанням великої розмаїтості підходів;

– множинність підходів забезпечує гнучкість подання і використання даних;

– гнучкість системи досягається, крім того, моделюванням як самих просторових структур, так і відносин між ними та можливістю переходу від одних способів подання до інших.

Продемонструємо переваги такої організації даних. Для прикладу розглянемо річку, яка підлягає моделюванню в ГІС. Зовнішньо вона подається у вигляді ламаної лінії, яка має товщину і колір. Положення ламаної лінії на карті характеризується координатами точок початку і кінця, а також координатами проміжних точок. Як просторовий об'єкт річка описується різноманітними параметрами – вона має назву, довжину, річний стік тощо. Частина цієї інформації існує на карті у вигляді самостійних елементів (наприклад, назва), а частина зберігається в спеціальних структурах даних і за потреби (запит користувача) може бути отримана у наочному вигляді. Все перераховане стосується і власти-

востей. Тепер про поведінку. Річка промальовується на карті. Зображення річки можна деформувати, наприклад, при зміні масштабу або спрямленні, змінюючи, таким чином, векторні координати точок ламаної. Інакше кажучи, поведінка русла річки як об'єкта програми повністю визначається діями, які можна виконувати. Треба також зазначити, що у всіх річок однакова поведінка, але різні значення параметрів, це дозволяє відрізнити одну річку від іншої.

Об'єктно орієнтована модель будується на концепції цифрового опису об'єктів місцевості в термінах сутностей і відношень між ними, де під об'єктом розуміють об'єкт місцевості або карти, метричний і семантичний опис якого не змінюється впродовж усього об'єкта. В об'єктно орієнтованих моделях топологічні відносини формуються на рівні об'єкта, а не на рівні графічних примітивів, однак це цілком можливе.

В даних моделях поняття тематичного шару не є головним, а одиницею управління даними слугує об'єкт, який описується в термінах системи класифікації і кодування об'єктів карти. Атрибутивна інформація зберігається у вигляді таблиць, пов'язаних з просторовою інформацією.

Як приклад на рис. 15.9 представлено цифрову модель фрагмента в об'єктно орієнтованому вигляді, яка містить опис полігональних об'єктів (ліс, ялина заввишки 25 м, діаметром 0,3 м, відстань між деревами 7 м; полігони посаженої берези (висота 20 м, діаметр 0,25 м, відстань 4 м); луг) і лінійних об'єктів (лісова дорога та польова дорога по контуру лісу, луку, посадки).

Треба відзначити, що багато ділянок метричного опису повторюються і неодноразово: АВ тричі (ліс, луг, дорога), ВС – тричі (посадка, луг, дорога), CD – двічі (посадка, дорога), VD – двічі (ліс, посадка). Метричні описи повторюваних ділянок необов'язково однакові, оскільки при роздільному цифруванні кожного об'єкта вони можуть не збігатися.

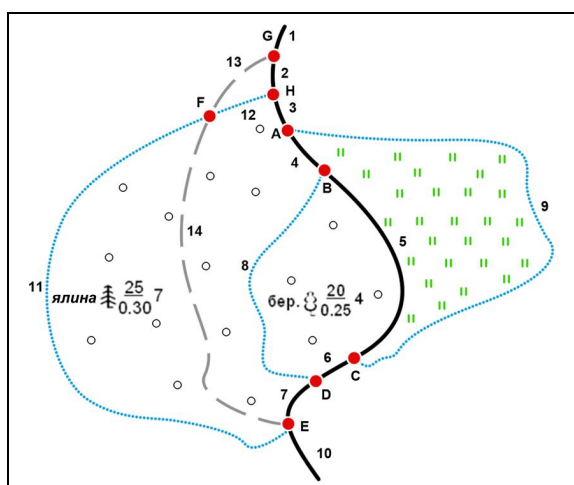


Рис. 15.9. Фрагмент картографічних даних

Крім того, кожний об'єкт описується поза зв'язком із сусідніми і при роботі з ним невідомо, що розташовано по сусідству. Це можна з'ясувати, "переглянувши" усю базу даних і виконавши аналіз за певним критерієм. Саме ця обставина змушує вводити правила шифрування (об'єкт ліворуч або праворуч) і просторово-логічні зв'язки (ПЛЗ), за допомогою яких можна з'ясувати, що знаходиться ліворуч (праворуч).

Об'єктно орієнтовані моделі, що ґрунтуються на принципах класифікації та кодування об'єктів, є менш універсальними в частині графічного опису зображень, але усувають усі проблеми в частині об'єднання тематичної і картографічної інформації. Крім того, об'єктно орієнтовані моделі є більш перспективними, оскільки в практику все більше впроваджуються технології об'єктно орієнтованого програмування та об'єктних СКБД.

Нині об'єктно орієнтовані моделі використовує незначна кількість ГІС. До них можна віднести такі ГІС, як SMALLWORLD GIS (Англія), MapGIS (ІТК НАН Білорусі), Панорама (МО РФ) та інші. Серед вітчизняних таких ГІС, наскільки відомо авторам, взагалі немає.

Підсумовуючи вищенаведене, слід зазначити, що основними мотивами вибору об'єктного підходу до побудови моделі збереження даних можна назвати природність подання у вигляді об'єктів моделі реального світу, керованість розробкою проекту і відкритість його до модернізації, логічність і наочність у маніпуляціях із даними, а також необхідність застосування об'єктної бази даних для збереження неоднорідної інформації, що використовується в ГІС.

15.4. Моделі організації даних

Принципи організації даних визначають відповідні моделі організації даних:

- 1) геореляційна модель організації даних;
- 2) об'єктно орієнтована модель організації даних;
- 3) об'єктно реляційна модель організації даних.

Широкого поширення набули моделі даних ESRI:

а) геореляційна модель організації даних у вигляді моделі даних "Шейп-файл" і моделі даних "Покриття";

б) об'єктно орієнтована модель організації даних у вигляді моделі даних "База геоданих".

На рис. 15.10 представлено ієрархію моделей даних ESRI від загального верхнього рівня моделей географічних об'єктів до нижнього спеціального рівня організації даних.

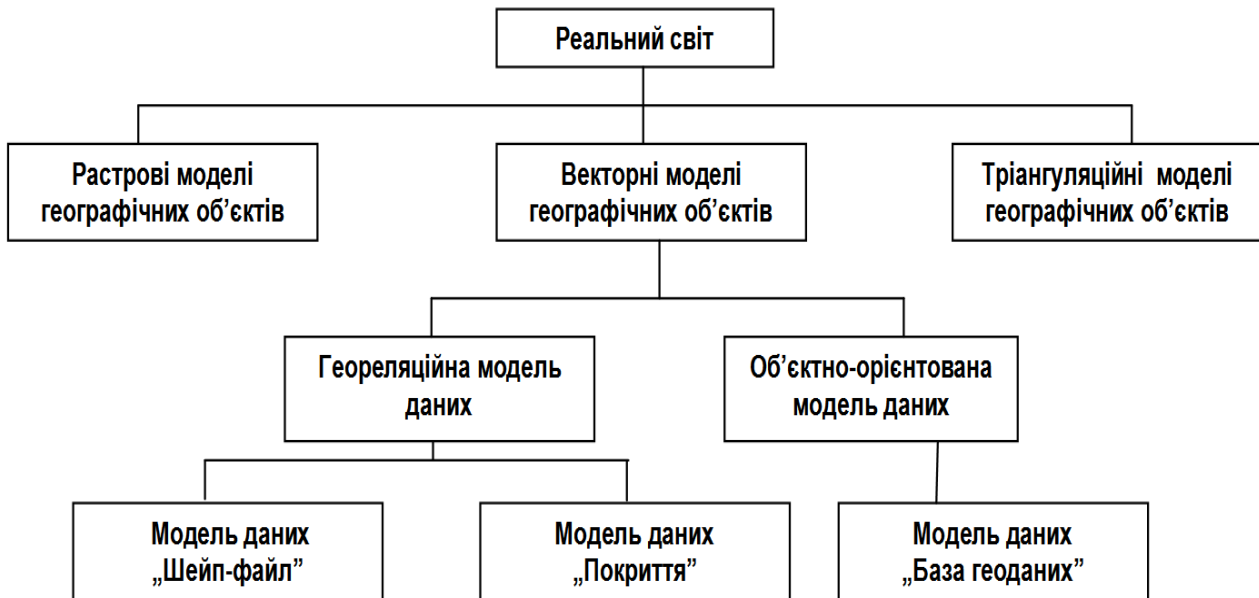


Рис. 15.10. Моделі даних ESRI [47]

15.4.1. Сутність геореляційної моделі даних ESRI

У реляційній моделі дані зберігаються як асоційовані набори таблиць, які логічно пов'язані за допомогою спільних атрибутів. Записи зберігаються як рядки таблиць, атрибути – у вигляді колонок. Кожна колонка містить атрибутивні дані тільки одного типу: дату, текстовий рядок, числові дані тощо. Таблиці стандартизуються для мінімізації дублювання.

ГІС містить два типи даних – просторові і семантичні (атрибутивні).

Просторові дані географічних об'єктів зберігаються в окремих таблицях просторових даних у вигляді послідовності координатних пар x, y .

Атрибутивні дані географічних об'єктів організовуються у таблиці атрибутивних даних. Кількість записів у таблицях атрибутів дорівнює кількості графічних об'єктів у двійкових файлах.

Відношення між географічними об'єктами здійснюється за допомогою топології, яка також подається відповідними таблицями.

У ГІС, орієнтованих на роботу з базами даних (зокрема, в ARC/INFO) [63], успішно застосовується геореляційна модель даних (Georelational Data Model). Сутність цієї моделі полягає у роздільному зберіганні значень координат і атрибутивних даних. Зв'язок між просторовою й атрибутивною інформацією здійснюється за допомогою ідентифікаторів.

Ця модель заснована на геометричному типі об'єкта і відображає світ у вигляді наборів точок, ліній і полігонів. Координати кожного об'єкта з унікальним ідентифікаційним номером зберігаються в двійкових "arc"-файлах. Атрибутивні значення й опис топології зберігаються в таблицях реляційної СКБД (первісно в INFO таблиці). Записи пов'язані з геометрією за допомогою ідентифікаційного номера об'єкта (Identifier – ID). Модель

географічних даних подає географічні об'єкти як набір взаємопов'язаних просторових і атрибутивних даних. При цьому ГІС здійснює узгоджене управління цілісною інформацією об'єктів, яка розподіляється між файловою системою і базою даних.

Таким чином, геореляційна модель даних визначається наступними умовами [86]:

1) записами в таблицях просторових даних, які відображають моделі географічних об'єктів (точками, лініями, полігонами) і записами в таблиці атрибутів;

2) зв'язок між географічним об'єктом і записом у таблиці атрибутів підтримується через унікальний номер – ідентифікатор об'єкта;

3) ідентифікатор зберігається у двох місцях: у файлах географічних об'єктів, що містить пари координат X , Y , і у відповідних записах таблиці атрибутів географічних об'єктів.

Важливою вимогою цієї моделі є так звана планарність виконання, яка означає, що плоска поверхня покривається безперервно об'єктами без перетинання.

Перевагою реляційних таблиць є те, що вони дозволяють спростити реальний світ і надають швидкі й достовірні відповіді на запити, які вони опрацьовують.

У геореляційних моделях використовується фіксований набір вбудованих типів даних, таких як числа, дати та текстові рядки.

Геореляційні моделі можуть вимагати складного прикладного програмування для результативного моделювання комплексних ситуацій реального світу. Складні змінні потребують великої кількості взаємозалежних таблиць. Однак геореляційна модель неспроможна моделювати усе розмаїття географічних об'єктів для конкретної області користувача.

В моделі об'єктів можуть бути геометричні структури, в яких один і той же об'єкт (наприклад, полігон) може відобразити будинок або земельну ділянку, якщо обидві форми співпадають. Єдина відмінність полягає в їх атрибутах.

Геореляційна модель має наступні переваги [86]:

- проста структура таблиць, які легко зчитувати;
- інтуїтивно простий інтерфейс користувача;
- наявність множини інструментів для кінцевих користувачів (наприклад, макросів і скриптів);
- простота зміни й додавання нових прив'язок, даних і записів;
- простота використання таблиць, що описують географічні елементи зі спільними атрибутами;
- можливість прив'язки таблиць, що описують топологію, необхідну для просторового аналізу;
- прямий доступ до даних, які забезпечують їх швидку й ефективну обробку;

- незалежність даних від додатка;
 - наявність великих об'ємів просторових даних у цьому форматі.
- До недоліків геореляційної моделі можна віднести:
- обмежене подання реального світу;
 - обмежену гнучкість управління запитамі і даними;
 - повільний послідовний доступ;
 - складність моделювання складних відносин даних, оскільки для цього часто необхідні кваліфіковані прикладні програмісти баз даних;
 - необхідність подання складних відношень у вигляді процедур у кожній програмі, яка звертається до бази даних.

15.4.2. Збереження даних у моделі "Шейп-файл"

Модель даних "Шейп-файл" представляється цифровим форматом Shapefile. Формат "Шейп-файл" (Shapefile) – це цифровий векторний формат ESRI для збереження просторової і пов'язаної семантичної (атрибутивної) інформації про географічні об'єкти. Цей формат є непридатним для збереження топологічної інформації. Формат Shapefiles створений для ArcView GIS; він використовується в ARC/INFO, ArcGIS [89].

Формат Shapefile містить набір файлів з однаковою назвою, але з різним розширенням. Наприклад:

1. Forest.shp.
2. Forest.dbf.
3. Forest.shx.
4. Forest.sbn.
5. Forest.sbx.
6. Forest.ain.
7. Forest.aih.

Ці файли поділяються на обов'язкові та факультативні (додаткові). Обов'язковими файлами є три файли з розширенням .shp, .shx, .dbf, оскільки вони містять базові дані. Файл форми з розширенням .shp (shape file) – це головний файл, який зберігає географічні об'єкти в його власному запису як список координатних пар x , y . Оскільки кожний географічний об'єкт (за винятком точкових) може містити різну кількість координатних пар, кожний запис у .shp файлі може бути різної довжини.

Записи змінної довжини вимагають певного часу для обробки і відображення на екрані, тому .shp файл індексується з .shx файлом.

Файл індексу форми з розширенням .shx (shape index file) містить один запис фіксованої довжини для кожного запису в .shp файлі. Кожний запис в .shx файлі містить номер запису і довжину в байтах відповідного запису в .shp файлі. Оскільки усі записи в .shx файлі мають рівну довжину, вони можуть швидко зчитуватись і оброблятися аналогічно табличному пошуку для звітів у .shp файлі. Файл-індекс форми (.shx) прискорює креслення усіх

просторових об'єктів у шейп-файлі. Можна прискорити запит і відбір індивідуальних просторових об'єктів створюючи просторовий і атрибутивний індекси [89].

Файл атрибутів із розширенням *.dbf* (dBASE file) зберігає атрибутивну інформацію про просторові об'єкти у *.shp* файлі як таблицю атрибутів у форматі dBASE. Таблиця атрибутів містить один запис для кожного просторового об'єкта у *.shp* файлі. Кожний запис атрибутів має відношення один до одного з відповідним записом форми.

Додаткові 2 файли просторових індексів ArcView GIS створює кожного разу, коли виконується просторове з'єднання або вибір теми темою.

Файл просторового лотка з розширенням *.sbn* (spatial bin) розділяє ділянку, що містить географічні об'єкти *.shp* файлу на прямокутні ділянки, що отримали назву лотків.

Кожний лоток містить запис кількості просторових об'єктів у *.shp* файлі, які потрапляють у його сферу. Коли виконується просторовий запит, записи в *.sbn* файлі зчитуються першими і розглядаються тільки просторові об'єкти, які перетинають лотки, зазначені запитом. Це значно прискорює обробку. Оскільки у лотки потрапляє різна кількість просторових об'єктів, то записи лотка змінюються за довжиною і потребують власного індексу. Файл просторового індексу лотка з розширенням *.sbx* (spatial bin index) файл містить один запис фіксованої довжини для кожного запису у *.sbn* файлі. Кожний запис у *.sbx* файлі містить запис числа і довжини в байтах відповідного запису лотка у *.sbn* файлі. Оскільки записи у *.sbx* однакової довжини, вони можуть зчитуватись доволі швидко та опрацьовуватись аналогічно табличному пошуку у записах змінної довжини у *.sbn*.

Додаткові 2 файли індексу атрибуту ArcView GIS створює кожного разу, коли виконується зв'язок із таблицею. Файл індексу атрибута з розширенням *.ain* (attribute index) – файл містить один індекс для кожного поля, включеного у зв'язок, або такого, для якого створений індекс методом, описаним вище. Ці індекси покращують операції з даними типу з'єднання і зв'язку та прискорюють прості запити типу: [Назва] = "Чернігів".

Індекс атрибута не буде покращувати операції на запитах, що включають рядки відповідності типу [Назва] або порівняння [Кількість] < 100000. Файл заголовка індексу атрибута з розширенням *.aih* (attribute index header) – містить назву кожного поля, яке було індексоване. Він слугує як каталог до значень, що містяться в *.ain* файлі.

До додаткових файлів відносяться ще три файли. Файл системи координат із розширенням *.prj* (map projection) зберігає інформацію про систему координат і картографічні проекції. Файл метаданих із розширенням *.xml* (extensible markup language) зберігає дані про дані в ArcInfo та ArcView 8.0 і більш пізніх версій для використання в Internet. Файл легенди з розширенням (ArcView legend) зберігає символіку графічного відображення об'єктів.

Шейп-файли є простими, оскільки зберігають примітивні геометричні типи даних: точкові, лінійні та полігональні. Ці примітиви мають обмежене використання без будь-яких ознак для вказівки того, що вони представляють.

Таким чином, таблиця записів буде зберігати просторові об'єкти та атрибути для кожної примітивної форми в шейп-файлі. Форми (точкові, лінійні, полігональні), а також дані атрибутів можуть створювати нескінченну множину уявлень (представлень) про географічні дані. Представлення надає можливості для потужного і точного обчислення.

15.4.3. Збереження даних у моделі "Покриття"

Покриття (Coverage) – це геореляційна модель, яка має векторний топологічний формат даних. Інститутом ESRI розроблені дві версії файлів покриття: для PC ARC/INFO у 1981 р., для версій ArcGIS з 2000 р.

В математиці термін "покриття множини X " – це сімейство підмножин цієї множини, об'єднання яких є X , або сімейство підмножин простору, в якому розташоване X і яке містить X . Елементи покриття містять у собі повну інформацію про локальну будову простору. Поняття "покриття" розглядається у контексті загальної топології.

Покриття містить просторові й атрибутивні дані географічних об'єктів. Покриття використовує набір класів просторових об'єктів для подання географічних об'єктів (рис. 15.11) [89].

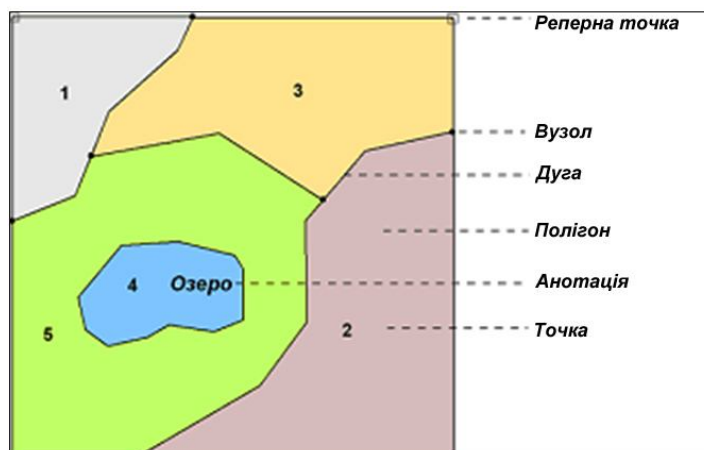


Рис. 15.11. Класи просторових об'єктів у покритті

Модель даних "Покриття" використовує наступні класи просторових об'єктів:

Точка (*Point*) – використовується для подання точкових просторових об'єктів або користувачьких ідентифікаторів ID полігонів. Точка визначається координатною парою x, y .

Дуга (*Arc*) – використовується для подання лінійних просторових об'єктів або меж полігонів. Дуга визначається послідовністю координатних пар x, y початкового вузла, проміжних вершин, кінцевого вузла. Дуги топологічно зв'язуються через їх кінцеві точки (вузли). Один лінійний об'єкт може бути утворений багатьма дугами.

Вузол (*Node*) – представляє кінцеві точки дуг або перетинання лінійних об'єктів. Вузол має унікальний ідентифікатор. Вузол може топологічно пов'язуватись із набором дуг, які з'єднані між собою.

Шлях (*Route*) – лінійний просторовий об'єкт, що складає одну чи декілька дуг або частин дуг.

Секція (*Section*) – дуга або частина дуги, яка використовується для визначення шляху чи створення шляхових блоків.

Полігон (*Polygon*) – представляє площинні об'єкти. Полігони топологічно визначаються серією дуг, які формують їх межі, включаючи дуги, що визначають острови усередині. Користувацькі ідентифікатори ID полігонів подаються точками усередині меж.

Region (Region) – сукупність полігонів, що представляють географічний об'єкт.

Анотація (Annotation) – текст, що використовується для позначення об'єктів. Анотації не мають топологічних зв'язків з іншими об'єктами та не використовуються для аналітичних цілей.

Реперна точка (Tic) – реєстраційна точка, яка визначає положення відомої точки на земній поверхні, для якої відомі координати реального земного простору. Реперні точки дозволяють реєструвати та трансформувати координати покриття. Рекомендована кількість реперних точок – 4 і більше.

Охоплення покриття (Coverage Extent) – мінімальний прямокутник, що обмежує покриття, яке представляє територіальне охоплення покриття. Охоплення покриття визначається граничними координатами X_{max} , X_{min} , Y_{max} , Y_{min} його елементів.

Описові дані для класів просторових об'єктів зберігаються у відповідних таблицях атрибутів. Пов'язування просторових об'єктів й атрибутів забезпечується наступними базовими принципами:

- просторові об'єкти у покритті існують у відношенні "один-до-одного" з відповідними записами у таблиці атрибутів просторових об'єктів;
- ArcGIS підтримує зв'язок між просторовими об'єктами й атрибутами за допомогою ідентифікатора, призначеного кожному об'єктові;
- порядковий номер просторового об'єкта фізично зберігається у двох місцях покриття:
 - у файлах, що містять просторові дані для кожного просторового об'єкта (координатні пари);
 - відповідним записом у таблиці атрибутів просторових об'єктів.

ArcGIS автоматично створює та підтримує ці зв'язки. Набір класів у покритті варіюється залежно від географічних об'єктів, які воно представляє. Покриття може містити:

1) набір точок, які представляють географічні об'єкти, й асоційовані таблиці атрибутів, які описують ці точкові об'єкти;

2) набір вузлів і дуг, які представляють лінійні просторові об'єкти, та асоційовані таблиці атрибутів, які описують ці лінійні об'єкти;

3) набір вузлів і дуг, які оточують географічні області (полігони), та асоційовані таблиці атрибутів, які описують ці області;

4) комбінацію наборів 1) і 2);

5) комбінацію наборів 2) і 3).

Покриття також містить інші елементи (анотації та реперні точки). Наведене свідчить, що дуга і вузол є головними "будівельними" елементами покриття. Ключове значення дуги Arc використовується у назві програмних продуктів ArcInfo, ArcGIS.

Покриття зберігається як директорія, у якій кожний клас просторових об'єктів зберігається як набір файлів. Наприклад, покриття "дороги" є лінійним покриттям, що містить файл дуг (Arc), файл анотацій (Annotation) для дуг, файл реперних точок (Tic).

Просторові дані зберігаються у двійкових файлах, а атрибутивні та топологічні дані – в таблицях INFO. Покриття також може мати асоційовані файли.

Топологія має відношення до способу, згідно з яким лінійні дані зберігаються і співвідносяться. Топологія реєструє просторові відношення між дугами й полігонами в покритті. Кожна дуга має "від вузла", "до вузла", полігон ліворуч і праворуч, унікальний ідентифікатор ID-дуги та внутрішній порядковий номер. Групи дуг, які формують замкнені форми (полігони), асоціюються з унікальною міткою. Збереження даних таким способом дозволяє системі визначати, які полігони суміжні, які дуги формують полігони, як далеко стоять центри дуг і полігонів один від одного тощо. Треба мати на увазі, що топологія не створюється автоматично. Користувач використовує спеціальні команди для створення топології [89].

15.5. Об'єктно орієнтована модель даних "База геоданих"

15.5.1. Визначення бази геоданих

Починаючи з 2000 р., у ArcGIS представлено новий підхід до збереження й подання географічних даних – об'єктно орієнтована модель даних, що отримала назву "База геоданих" – БГД (Geographic Database – GDB) [86].

База геоданих – це сукупність географічних наборів даних різних типів, що використовуються в ArcGIS і які зберігаються в загальних папках файлової системи або в реляційній базі даних.

Модель "База геоданих" ґрунтується на принципах реляційних таблиць і використовує персональну базу даних Microsoft Access або багатокористувальницьку реляційну базу даних, таку як Oracle, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, Informix або IBM DB2.

Ключовою концепцією бази геоданих є набір даних. База геоданих містить три основні типи наборів даних:

- класи просторових об'єктів (Feature classes);
- растрові набори даних (Raster datasets);
- непросторові таблиці (Tables).

Ці набори даних додають до бази геоданих розширені можливості (шляхом створення топології мережі або підтипів) для моделювання поведінки, збереження цілісності даних і роботи з одним з найважливіших наборів просторових відношень.

База геоданих забезпечує:

- доступ і управління великими обсягами просторових даних, що зберігаються у файлах і базі даних;
- обробку великих і різноманітних типів даних та інших об'єктів;
- застосування складних правил і відношень в "інтелектуальних" ГІС, що безпосередньо моделюють реальність.

15.5.2. Об'єктно орієнтована векторна модель даних

Модель бази геоданих підтримує об'єктно орієнтовану векторну модель даних. У цій моделі сутності представлені як об'єкти з властивостями, поведінкою та відношеннями. Підтримка різних типів географічних об'єктів вбудована в систему. До цих типів об'єктів відносяться прості об'єкти, географічні об'єкти, мережеві просторові об'єкти, анотації просторових об'єктів тощо, більш спеціалізовані типи просторових об'єктів. Модель дозволяє визначити взаємовідношення між об'єктами, а також правила для підтримки цілісності посилальних даних між об'єктами.

Об'єктно орієнтована модель даних розглядає географічні об'єкти реального світу як об'єкти бази даних. Об'єктами подаються просторові об'єкти, наприклад, дорога, будинок, земельна ділянка. Об'єктами можуть бути шар доріг, система координат шару доріг тощо.

Модель бази геоданих визначає загальну модель для географічної (просторової) інформації. Це типова модель, яка може бути використана для визначення та роботи широким колом різних користувачів або додатків за конкретними моделями [50; 89].

15.5.3. Переваги бази геоданих

Перевагами бази геоданих є надання таких можливостей:

- централізовано зберігати географічні дані та керувати ними в одній реляційній СКБД;
- моделювати поведінку просторових об'єктів;
- застосовувати складні правила та відношення до даних;
- підтримувати цілісність просторових даних у несуперечливій, точній базі даних;
- робота в рамках багатокористувацького доступу та редагування середовища;
- масштабування створених рішень;
- інтеграція просторових даних з іншими базами даних;
- підтримка користувацьких функцій і поведінки.

15.5.4. Засоби надання інтелектуальних властивостей просторовим об'єктам

У моделі даних "покриття" користувач може описувати тільки геометрію об'єкта та його характеристику, де описана його поведінка за допомогою додаткових програм, що створені користувачем. Це обмежує можливості аналізу й обробки, наприклад, аналіз різних типів об'єктів у реальному часі.

Модель даних бази геоданих володіє істотною перевагою – можливістю будувати інтелектуальну модель просторової системи [50].

За допомогою моделі даних бази геоданих користувач може створювати більш змістовні об'єкти з новими якостями (інтелектуальні об'єкти) і тим самим моделювати об'єкти навколишнього світу.

Користувач працює не просто зі звичайними точками, лініями та полігонами, інформація про які зберігається в таблицях. У БГД користувач може оперувати такими поняттями, як об'єкти навколишнього світу, встановлювати та налаштовувати властивості й взаємовідношення об'єктів. Наприклад, замість точок можна працювати з трансформаторами, а замість ліній – з трубами. При цьому кожній трубі буде встановлено правило: через який перехідник вона з'єднується з іншою трубою.

Користувач може задавати поведінку окремих об'єктів, визначати взаємостосунки класів об'єктів, створювати правила та застосовувати топологічні моделі високого рівня без програмування.

Модель "База геоданих" має засоби створення більш змістовних просторових об'єктів, якими моделюється поведінка, підтримується цілісність даних і робота з просторовими відношеннями. Такими засобами є

передусім топологія, підтипи класів просторових і непросторових об'єктів, домени атрибутів, відношення, правила зв'язності тощо [15; 22; 50; 86].

15.5.5. Топологія в базі геоданих

В базі геоданих топологія – це механізм, який визначає як точкові, лінійні, полігональні просторові об'єкти використовують загальну геометрію. Наприклад, осі вулиць і поштових ділянок мають загальну геометрію, а суміжні полігони ґрунтів мають загальні кордони.

Топологія визначає та забезпечує правила цілісності даних (наприклад, не повинно бути щілин між полігонами). Вона підтримує запити топологічних відношень і переміщень (наприклад, переміщення просторових об'єктів суміжності або зв'язності), підтримує складні інструменти редагування, а також дозволяє створювати просторові об'єкти із неструктурованих геометрій (наприклад, створення полігонів з ліній).

У ArcGIS топологія включає компоненти:

- 1) топологічні моделі даних, які використовують відкритий формат для простих просторових об'єктів, правила топології та топологічно інтегровані координати для просторових об'єктів із загальною геометрією;
- 2) топологічні шари, які використовуються для відображення топологічних взаємовідношень, помилок і винятків;
- 3) комплекс інструментів геообробки для створення, аналізу, управління та перевірки топології;
- 4) досконалі програмні алгоритми для аналізу й знаходження топологічних елементів у класах просторових об'єктів (точкових, лінійних і полігональних);
- 5) потужні засоби редагування й автоматизації даних, які використовуються для створення, підтримки й перевірки топологічної цілісності та подання групових просторових об'єктів.

Властивості топології у базі геоданих. У базі геоданих для кожної топології визначаються такі властивості:

- ім'я топології, яка буде створена;
- кластерний допуск, що визначає мінімально припустиму відстань між вершинами об'єктів;
- список класів просторових об'єктів, які братимуть участь у топології;
- ранги відносної точності координат для кожного класу просторових об'єктів;
- список правил топології.

Правила топології. Топологія реалізується у вигляді набору правил цілісності, які визначають поведінку просторово взаємопов'язаних

географічних об'єктів і об'єктних класів. Ці правила дозволяють моделювати у базі геоданих такі просторові відношення, як зв'язність (чи пов'язані лінії вулично-дорожньої мережі?) і суміжність (чи існує щілина між двома полігонами?). Правила топології визначають припустимі просторові відношення між просторовими об'єктами.

Приклади застосування правил топології представлено в табл. 15.2.

Таблиця 15.2

Приклади застосування правил

Правило	Приклад застосування
Не повинні перекриватися	Земельні ділянки не повинні перекриватися; суміжні ділянки можуть мати загальні межі. Це правило може використовуватися для управління цілісністю просторових об'єктів
Повинні з'єднуватися з об'єктами класу	Територія великого міста повинна бути повністю покрита площинними об'єктами його адміністративних районів
Межа повинна співпадати	Межі планувальних кварталів повинні співпадати з червоними лініями забудови
Повинні співпадати	Лінії автобусних маршрутів повинні співпадати з осьовими лініями доріг
Не повинні перетинатися	Горизонталі не повинні перетинатися

Правила використовуються для контролю топологічних відношень між просторовими об'єктами усередині одного класу просторових об'єктів, між просторовими об'єктами у різних класах або між підтипами просторових об'єктів.

15.5.6. Підтипи

Підтипи (Subtypes) – це підмножина просторових об'єктів у класі просторових об'єктів або об'єкти в таблиці, які мають однакові атрибути.

Підтипи використовуються для створення розширених можливостей бази геоданих.

1) Підтипи дозволяють підвищити ефективність бази геоданих. Підтипи використовуються як метод класифікації даних, поділ класів просторових об'єктів або таблиць на логічні групи, що ґрунтуються на значеннях атрибутів. Наприклад, дороги у класі просторових об'єктів доріг можна розбити на три підтипи: дороги місцевого значення, дороги обласного

значення і дороги загальнодержавного рівня. Подання різних об'єктів навколишнього світу як підмножини просторових об'єктів у даному класі просторових об'єктів замінює необхідність створення нового класу просторових об'єктів для кожного об'єкта.

2) Підтипи дозволяють керувати значеннями атрибутів, у тому числі:

– встановити значення за замовчуванням, яке буде автоматично застосовуватись при створенні нових просторових об'єктів. Наприклад, підтип вулиць місцевого значення може бути створений і визначений таким чином, що коли цей підтип вулиці буде доданий до класу просторових об'єктів вулиць, його атрибут максимальної швидкості буде автоматично встановлений на 60 км/год;

– застосувати домен діапазонів або домен кодованих значень до просторових об'єктів, щоб обмежити введення інформації згідно зі встановленим набором значень. Наприклад, у водопровідній мережі підтип магістральних водопроводів може мати домен кодованих значень для будівельних матеріалів, який обмежує їх виготовлення з заліза, чавуну або міді.

3) Підтипи дозволяють розширити правила поведінки, зокрема:

– створити правила з'єднання між іншими підтипами та класами просторових об'єктів для збереження цілісності мережі. Наприклад, у водопровідній мережі кінці труб різного діаметра можуть бути з'єднані спеціальним перехідним елементом;

– створити правила топології між іншими підтипами та класами просторових об'єктів, що знаходяться в топології. Наприклад, можна внести вимогу про те, що просторові об'єкти вулиць повинні бути пов'язані з іншими просторовими об'єктами вулиць з обох боків, за винятком підтипів тупикових вулиць;

– розробити правила відношень між іншими підтипами, таблицями та класами просторових об'єктів. Наприклад, в електричній мережі можна створити правила відношень між підтипами, які полягають у тому, що сталеві стовпи підтримують клас трансформаторів В, а дерев'яні стовпи підтримують клас трансформаторів С;

– створити користувацькі правила між просторовими об'єктами за допомогою написання коду.

Підтипи можуть створюватись за допомогою контекстного меню в ArcCatalog або використанням набору інструментів підтипів (Subtypes) геообробки.

15.5.7. Домени

Два механізми *Домени* та *Підтипи* використовуються для організації даних таким чином, щоб операції управління, відображення та редагування даними стали більш ефективними при підтримці цілісності атрибутів.

Домен – це декларація (фіксований список) припустимих значень атрибута. Кожен раз, коли домен асоціюється з полем атрибутів, тільки значення з домену будуть правильними для цього поля. Інакше кажучи, поле не прийме ніякого значення, якщо воно буде не з домену.

У базі геоданих домен атрибутів є механізмом посилення цілісності даних. Домени атрибутів визначають, які значення є припустимими у полі класу просторових об'єктів або таблиці непросторових атрибутів.

Якщо просторові або непросторові об'єкти згруповані у *Підтипи*, різні домени атрибутів можуть асоціюватися з кожним підтипом.

База геоданих використовує два типи доменів атрибутів – домени діапазонів і домени кодів.

Домени діапазонів створюються на інтервальних даних. Домен діапазонів задає допустимий діапазон значень для числового атрибута. При створенні ряду доменів необхідно ввести мінімальне та максимальне значення. Наприклад, для підтипу ліній газопостачання низького тиску задається діапазон діаметрів труб від 40 мм до 270 мм.

Домени кодів створюються на базі номінальних даних. Домен кодованих значень може застосовуватись до будь-якого типу атрибутів – текстових, цифрових, дат тощо. Домен кодованих значень визначає правильний набір значень для атрибута. Наприклад, затверджений міською радою стандарт на назву вулиць, який є доменом кодів, включає у тому числі значення атрибута "Рокосовського вул."; поле назв вулиць не прийме значення атрибута "Рокосовська вул."

15.5.8. Відношення та класи відношень

Різні види географічних і негеографічних сутностей можуть бути пов'язані між собою відношеннями. Відношення можуть існувати між:

- географічними сутностями, наприклад, будинок може бути пов'язаний із земельною ділянкою;
- географічними сутностями та негеографічними сутностями, наприклад, земельна ділянка може бути пов'язана з власником;
- негеографічними сутностями, наприклад, власник земельної ділянки може бути пов'язаний з податковим кодом.

При поданні зв'язків між географічними об'єктами необхідно моделювати просторові відношення між просторовими об'єктами. ArcMap забезпечує два методи асоціації даних, що зберігаються в таблицях з географічними об'єктами: зв'язування і з'єднання.

Зв'язування (Relating) – операція, яка встановлює часові зв'язки між записами в двох таблицях, в обох використовуючи загальний ключ.

Зв'язування реалізують типи відношень "один-до-одного" (one-to-one), "один-до-багатьох" (one-to-many) і "багато-до-багатьох" (many-to-many).

З'єднання (Joining) – операція зв'язування та фізичного з'єднання двох таблиць атрибутів, використовуючи їх спільні елементи, які існують у двох таблицях. З'єднання використовується для того, щоб доповнити поля однієї таблиці до полів іншої таблиці за допомогою спільних атрибутів або полів. З'єднання реалізують типи відношень "один-до-одного" і "багато-до-одного".

Відношення "один-до-одного" та "один-до-багатьох" не вимагають нової таблиці у базі геоданих. Зв'язування і з'єднання використовуються для створення даних, їх вивчення та аналізу.

У базі геоданих відношення між об'єктами зберігаються в класах відношень.

Клас відношень (Relationship class) – це елемент бази геоданих, який зберігає інформацію про відношення. Класи відношень керують асоціаціями між об'єктами в одному класі (класі просторових об'єктів або таблиці) й об'єктами в іншому класі.

Класи відношень забезпечують множину ефективних можливостей, які відсутні в операціях зв'язування та з'єднання в ArcMap.

1) Класи відношень допомагають забезпечувати цілісність посилальних даних. Клас відношень може бути налаштовано таким чином, що при зміні об'єкта пов'язані об'єкти оновлюються автоматично. Це може включати фізичне переміщення пов'язаних просторових об'єктів, видалення пов'язаних об'єктів або оновлення атрибута. Наприклад, можна створити такі відношення, при яких при переміщенні опори електромережі разом з нею переміщуються прикріплені трансформатори та інше обладнання.

Встановлюючи правила, клас відношень може обмежити тип відношень. Наприклад, одна опора може підтримувати не більше трьох трансформаторів. Сталева опора може підтримувати трансформатори класу В, але не трансформатори класу С.

2) Класи відношень полегшують редагування, допомагаючи знизити витрати на технічне обслуговування. Забезпечуючи автоматичне оновлення для зв'язаних об'єктів, клас відношень може позбавити від потреби виконання додаткових операцій редагування. Класи відношень полегшують користувачам доступ до об'єктів у процесі редагування. Можна обрати один об'єкт, а потім знайти всі пов'язані об'єкти, використовуючи діалогове вікно атрибутів або таблиці. Вийшовши на відповідний об'єкт, є можливість редагувати його атрибути.

3) Класи відношень дозволяють виконувати запити до пов'язаних просторових об'єктів та записів, виконувати аналіз і формувати звіти з атрибутами з класу відношень. Клас відношень може мати атрибути. Клас відношень, який має атрибути, зберігається у таблиці бази геоданих. Кожне відношення зберігається як запис у таблиці класу відношень (рис. 15.12).

Класи відношень мають такі характеристики: ім'я, атрибути відношення, клас-джерело та клас-адресат, первинні та зовнішні ключі, тип відношення, потужність, напрямок повідомлення інформації.



Рис. 15.12. Клас відношень "один-до-багатьох" у базі геоданих

Усі відношення в класі відношень зв'язують об'єкти з одного класу-джерела (origin class) з об'єктами з одного класу-адресата (destination class).

Таблиця класу відношень має пару зовнішніх ключів (foreign key – FK), один з яких відноситься до класу-джерела, а інший – до класу-адресата.

Класи об'єктів мають внутрішні ключі (primary key – PK), один з яких відноситься до класу-джерела, а інший – до класу-адресата.

Клас відношень має мітку прямого напрямку (forward path label) і мітку зворотного (backward path label). Приклади міток напрямку: "керує", "керується за допомогою". Потужність відношення (cardinalities) визначає кількість об'єктів у класі-джерелі, які можуть відноситися до числа об'єктів у класі-адресата. Відношення у базі геоданих можуть мати одне з трьох значень потужності: "один-до-одного", "один-до-багатьох" або "багато-до-багатьох".

База геоданих підтримує два типи відношень – прості та складені.

Просте відношення (simple relationship) – це рівноправне відношення, при якому пов'язані об'єкти можуть існувати незалежно один від одного.

Складене відношення (composite relationship) – це відношення "один-до-багатьох", при якому об'єкти з класу-адресата не можуть існувати незалежно від об'єктів з класу-джерела. Коли видаляється джерело, відповідні об'єкти з класу-адресата також видаляються.

15.5.9. Елементи об'єктно орієнтованої моделі "База геоданих"

База геоданих містить три основні типи наборів даних незалежно від системи їх використання [64]:

- таблиці (Tables);
- класи просторових об'єктів (Feature classes);
- набори растрових даних (Raster datasets).

Ці набори даних можна розглядати як універсальну відправну точку для розробки бази геоданих.

База геоданих має низку додаткових елементів і типів наборів даних, які можуть бути використані для моделювання складної поведінки, підвищення цілісності даних, розширення можливостей бази геоданих в управлінні даними (рис. 15.13).



Рис. 15.13. Компоненти бази геоданих

Ці типи наборів даних у базі геоданих, а також інші елементи бази геоданих зберігаються у таблицях.

15.5.10. Таблиці

У базі геоданих управління атрибутами здійснюється в таблицях, які ґрунтуються на серії простих істотних концептів реляційних даних:

- таблиці містять ряди;
- усі ряди таблиці мають однакові колонки;
- кожна колонка має тип даних;
- серія реляційних функцій і операторів доступна для операцій на таблицях та їх елементах даних.

Таблиці та відношення відіграють ключову роль у ArcGIS, бо вони знаходяться у додатках традиційних баз даних. Користувачі за допомогою таблиць виконують дуже багато традиційних табличних і реляційних операцій.

Таблиці (Tables) забезпечують описовою інформацією географічні об'єкти, растри і традиційні таблиці атрибутів у базі геоданих. Рядки у таблиці можуть використовуватися для збереження всіх властивостей

географічних об'єктів. Вони включають збереження й управління геометрією просторових об'єктів у колонці (стовпчику) Shape.

15.5.11. Розширення таблиць

Для моделювання відношень і поведінки таблиці можуть використовуватися спільно з елементами, які надають додаткові ефективні можливості базі геоданих. База геоданих включає наступні елементи, що утворюють розширення таблиць (Extending tables).

Домени атрибутів (Attribute Domains) – представляють списки припустимих значень або діапазон допустимих значень атрибутів стовпчиків.

Домени використовуються для забезпечення цілісності значень атрибутів і класифікації даних.

Класи відношень (Relationship Classes) – створюють відношення між двома таблицями, використовуючи загальний ключ. Класи відношень визначають рядки у другій таблиці, що відповідають обраним рядкам у першій таблиці.

Підтипи (Subtypes) – керують наборами атрибутів підкласів у одній таблиці. Підтипи часто використовуються в таблицях класів просторових об'єктів для керування різною поведінкою в підмножинах того ж типу просторових об'єктів.

Управління версіями (Versioning) – керують довгими транзакціями оновлення даних, історичними архівами та багатокористувацьким редагуванням.

15.5.12. Класи просторових об'єктів

Класи просторових об'єктів (Feature Classes) – це гомогенні зібрання просторових об'єктів з однаковим просторовим поданням, зі спільною системою координат і набором атрибутів, що зберігаються у таблиці бази геоданих.

У базі геоданих основні класи просторових об'єктів мають 7 типів:

1. Точки (Points) – використовуються для подання географічних об'єктів, розмірами яких можна знехтувати для даного завдання. Точками характеризують місце розташування географічних об'єктів.

2. Лінії (Lines) – використовуються для подання географічних об'єктів, які мають довжину, але не мають площі. Лініями подають форму та місце розташування географічних об'єктів.

3. Полігони (Polygons) – набір різносторонніх площинних просторових об'єктів, які представляють форму та місце розташування однорідних типів просторових об'єктів.

4. Анотація (Annotation) – текст карти, що містить властивості подання тексту.

5. Розміри (Dimensions) – спеціальний тип анотації, який показує певну довжину або відстань. Наприклад, довжина сторони будинку або відстань між точками.

6. Мультиточки (Multipoints) – використовуються для подання просторових об'єктів, які утворені більше ніж однією точкою із загальними атрибутами.

7. Мультифрагменти (Multipatches) – використовуються для подання зовнішньої поверхні або оболонки просторових об'єктів, які займають окрему частину або об'єм у тривимірному просторі. Мультифрагменти включають планові 3D-кільця і трикутники, які використовуються у комбінації для моделювання тривимірної оболонки. Мультифрагменти можуть використовуватися для подання будь-яких об'єктів – від простих (сфери або куби) до складених об'єктів (ізоповерхні або будинки).

15.5.13. Розширення класів просторових об'єктів

Для моделювання просторових відношень і поведінки класи просторових об'єктів можуть використовуватися спільно з елементами, які підвищують ефективність бази геоданих. База геоданих містить наступні елементи, які утворюють розширення класів просторових об'єктів (Extending feature classes).

1. Набір класів просторових об'єктів (Feature Dataset) – зібрання класів просторових об'єктів, які мають загальну систему координат.

2. Підтипи (Subtypes) – використовуються з таблицями класу просторових об'єктів для управління різною поведінкою у підмножинах одного типу просторових об'єктів. Підтипи керують набором підкласів просторових об'єктів в одному класі просторових об'єктів.

3. Домени атрибутів (Attribute Domains) – визначають список припустимих значень або діапазони допустимих значень атрибутів стовпчик.

4. Домени використовуються для забезпечення цілісності значень атрибутів і для класифікації даних.

5. Класи відношень (Relationship Classes) – створюють відношення між класами просторових об'єктів та іншими таблицями з використанням загального ключа.

6. Топологія (Topology) – моделює загальну геометрію просторових об'єктів.

7. Мережевий набір даних (Network Dataset) – моделює транспортну зв'язність і потоки.

8. Геометричні мережі (Geometric Network) – моделюють комунальні мережі й трасування.

9. Набір даних місцевості (Terrain Dataset) – моделює мережу нерегулярних трикутників (TIN) і керує великими лідарними та гідролокаційними колекціями точок.

10. Адресний локатор (Address Locator) – адресне геокодування.

11. Набір даних кадастрового матеріалу (Cadastral Fabric Dataset) – інтегрує та підтримує геодезичну інформацію для підрозділів і планів земельних ділянок як частина моделі даних безперервного кадастрового матеріалу у базі геоданих. Набір даних кадастрового матеріалу вносить додаткові поліпшення точності для матеріалу земельної ділянки, як тільки буде уведено новий підрозділ планів і опис земельної ділянки.

12. Лінійне моделювання (Linear Referencing) – визначає місце розташування подій уздовж лінійних просторових об'єктів з вимірами.

13. Картографічні подання (Cartographic Representations) – керує множиною картографічних подань і правилами покращеного картографічного креслення.

14. Управління версіями (Versioning) – керує деякими ключовими потоками робіт у ГІС для управління даними.

15.5.14. Набори растрових даних

Растрові дані – це географічні об'єкти, одержані шляхом ділення території на дискретні квадратні або прямокутні комірки. Кожна комірка має значення, яке використовується для подання характеристик цього місця.

Растрові дані зазвичай використовуються для управління та подання зображень, цифрових моделей рельєфу, а також низки інших явищ.

Нерідко растри використовуються як спосіб подання точкових, лінійних і полігональних просторових об'єктів.

Растри цікаві з двох причин: по-перше, вони можуть бути використані для подання усієї географічної інформації (просторових об'єктів, зображень і поверхонь); по-друге, вони мають багатий набір аналітичних операторів геопроектингу⁴⁸.

15.5.15. Розширення растрів

Растри набули найбільшого поширення у геоінформаційних додатках. База геоданих може керувати растрами як індивідуальними наборами даних, як логічною колекцією наборів даних, а також атрибутами зображень у таблицях.

⁴⁸ Геопроектинг – обробка даних про землю.

Растри можуть використовуватися спільно з елементами, які підвищують ефективність бази геоданих. База геоданих містить наступні елементи, які утворюють розширення растрів (Extending rasters):

1. Набір растрових даних (Raster Datasets) – керує дуже великими безперервними наборами даних зображень і мозаїками зображень.

2. Каталоги растрів (Raster Catalogs) – використовуються для низки цілей: керування шаром аркушів зображень, де кожний аркуш є зображенням; керування серією зображень у СКБД; керування серією часових растрів.

3. Колонки атрибутів растрів у таблицях (Raster Attribute Columns in Tables) – зберігають зображення або скановані документи як атрибути у таблиці.

4. Визначення сервісу зображення (Image Service Definition) – сервіси публікації зображень для колекції растрових даних у полі на диску, у каталозі зображень і базі геоданих.

15.6. Типи баз геоданих

Існує два типи баз геоданих – персональні та багатокористувацькі БГД. У персональних базах геоданих дані зберігаються локально на окремому комп'ютері. Підтримка персональних баз геоданих вбудована в настільні продукти ArcGIS. Локальна версія бази геоданих може зберігатися і в комп'ютері у вигляді файлу Microsoft Access (*.mdb). Використання персональних баз геоданих доцільно при малих об'ємах даних і коли не потрібно використовувати багатокористувацькі сеанси доступу й редагування.

У багатокористувацьких базах геоданих дані зберігаються на сервері, використовуючи як сховище даних відомі комерційні РСКБД, такі як IBM DB2, Informix, Oracle, SQL Server, PostgreSQL. Для цього треба застосувати ArcSDE – спеціальний додаток сімейства ArcGIS. ArcSDE встановлюється на сервер даних для взаємодії з РСКБД у межах корпоративної ГІС. Багатокористувацький варіант бази геоданих доцільно використовувати для великих організацій, коли об'єми даних перевищують позначку з шістьма нулями.

При менших обсягах користувач може обрати як початкову основу локальні версії баз геоданих. У міру зростання обсягу накопичених даних користувач може поступово здійснювати перехід на багатокористувацьку корпоративну РСКБД. Цей перехід не потребує кардинальної реорганізації виробничого геоінформаційного процесу, що є досить істотним фактором. При цьому локальна база геоданих збереже усю структуру даних й успадковує правила та властивості усіх об'єктів, що задані у базі геоданих на сервері.

Багатокористувацькі бази геоданих дозволяють редагувати одні й ті ж географічні дані багатьом користувачам одночасно на декількох робочих місцях. Наприклад, в організації, що складається з багатьох відділів, де кожний з відділів повинен брати участь у робочому процесі, причому бажано, а іноді й необхідно, щоб усі ці відділи працювали спільно й одночасно – у реальному часі. Для цього потрібно правильно організувати робочий процес і завжди мати під рукою зручний інструмент для управління цим процесом. При такій постановці робочого процесу його учасники повинні оперувати свого роду версіями (копіями) загальної бази даних, з якими вони взаємодіють.

Версія представляє моментальну копію усієї бази геоданих. Вона містить усі набори даних у базі геоданих. Версія ізолює роботу користувачів за допомогою множини сесій редагування, дозволяючи користувачам редагувати без блокування просторові об'єкти у виконуваний версії.

Ефективність описаних вище можливостей, які забезпечує багатокористувацька база геоданих, очевидна.

15.7. Вимоги до баз геопросторових даних

Функції цієї групи є переважно загальнотехнічними і застосовуються при створенні будь-яких баз даних й управлінні ними. Специфіка функцій цієї групи виявляється в організації даних позиціонування з урахуванням координатних систем, просторових моделей і масштабів картографування територій. Найбільш важливими є такі функції:

- 1) задання внутрішньої для ГІС моделі даних, яка забезпечує опис об'єктів довільного типу;
- 2) забезпечення багаторівневого (за масштабами) представлення території з узгодженням координатних систем;
- 3) введення даних про якість інформації, яка включає походження, точність даних, детальність і повноту (у тому числі пооб'єктно);
- 4) введення й організацію растрових даних (фільтрація, зшивка) за аркушами або за ділянками території;
- 5) введення й організація векторних даних (зведення, звірення, зшивка – інтерактивне або автоматичне з'єднання геометрично суміжних об'єктів, які перекривають або розділяють один одного, кліпування, додавання і / або видалення точок) за аркушами або за ділянками території;
- 6) введення та зміну атрибутивних даних (зміна ідентифікаторів, об'єднання кодів);
- 7) забезпечення організації масивів даних за типом локалізації, темою, класами об'єктів;

- 8) підтримка проектів баз даних (сукупності даних на певну територію для розв'язання конкретної просторової задачі);
- 9) підтримка послідовного, прямого і за ключем доступу до даних;
- 10) управління зв'язками атрибутивних даних і даних позиціонування;
- 11) забезпечення оновлення даних (додавання, видалення, модифікації);
- 12) можливість відстеження транзакцій баз даних;
- 13) можливість встановлювати повноваження на читання / запис у базах даних;
- 14) перегляд баз даних;
- 15) можливість відновлення баз даних після аварійних ситуацій.

Список використаної літератури

1. Баранов Ю. Б. Геоинформатика: толковый словарь основных терминов / Ю. Б. Баранов, А. М. Берлянт, Е. Г. Капралов и др. – М. : ГИС-Ассоциация, 1999. – 204 с.
2. Берлянт А. М. Виртуальные геоизображения / А. М. Берлянт. – М. : Научный мир, 2001. – 56 с.
3. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование / А. М. Берлянт. – М. : РАЕН, 1997. – 64 с.
4. Берлянт А. М. Геоиконика / А. М. Берлянт. – М. : Фирма "Астрея", 1996. – 208 с.
5. Берлянт А. М. Картография : учебник для вузов / А. М. Берлянт. – М. : Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
6. Бугаевский Л. М. Картографические проекции / Л. М. Бугаевский, Л. А. Вахромеева. – М. : Недра, 1992. – 293 с.
7. Бугаевский Л. М. Математическая картография / Л. М. Бугаевский. – М. : Златоуст, 1998. – 400 с.
8. Бугаевский Л. М. Геоинформационные системы / Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков. – М. : Златоуст, 2000. – 222 с.
9. Бусыгин Б. С. Инструментарий геоинформационных систем : справочное пособие / Б. С. Бусыгин, И. Н. Гаркуша, Е. С. Серединин и др. – К., 2000. – 174 с.
10. Варламов А. А. Земельный кадастр / А. А. Варламов, С. А. Гальченко. – М. : Колосс, 2006.
Т. 6. Географические и земельные информационные системы. – 2006. – 400 с.
11. Васмут А. С. Автоматизация и математические методы в картосоставлении : учебное пособие для вузов / А. С. Васмут. – М. : Недра, 1991. – 392 с.
12. Вахромеев И. В. Алгоритмы и структуры данных для геоинформационных систем : методические указания для студентов / И. В. Вахромеев, И. Г. Ермакова, А. С. Савельев. – Красноярск : КГТУ, 2003. – 34 с.
13. Вахрамеева Л. А. Картография : учебник для студентов геодезических специальностей вузов / Л. А. Вахрамеева. – М. : Недра, 1981. – 223 с.
14. Власов В. М. Использование ГИС в технологии диспетчерского управления маршрутизированным транспортом : метод. пособие / В. М. Власов, Д. Б. Ефименко, С. В. Жанказиев ; МАДИ (ГТУ). – М. : МАДИ, 2007. – 72 с.
15. Де Мерс. Географические информационные системы. Основы / Де Мерс, Н. Майкл ; пер. с англ. – М. : Дата+, 1999. – 489 с.
16. Дьяконов К. Н. Современные методы географических исследований : кн. для учителя / К. Н. Дьяконов и др. – М. : Просвещение – АО "Учебная литература", 1996. – 207 с.

17. Ерунова М. Г. Географические и земельно-информационные системы / М. Г. Ерунова, А. А. Гостева. – Красноярск : КГАУ, 2004.

Ч. 1. Технология создания векторной земельно-кадастровой карты средствами ГИС программы вектоизатора GeoDraw for Windows : методические указания. – 2004. – 84 с.

18. Замай С. С. Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем / С. С. Замай, О. Э. Якубайлик. – Красноярск : КГУ, 1998. – 110 с.

19. Зейлер М. Моделирование нашего мира : руководство ESRI по проектированию базы геоданных / М. Зейлер ; пер. с англ. – М. : СП ООО "Дата+", 2004. – 254 с.

20. Іщук О. О. Просторовий аналіз в ГІС : навч. посіб. / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Є. Кошляков ; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : ВПЦ "Київський університет", 2003. – 195 с.

21. Иванников А. Д. Геоинформатика / А. Д. Иванников, В. П. Кулагин, А. Н. Тихонов и др. – М. : МАКС-ПРЕСС, 2001. – 349 с.

22. Капралов Е. Г. Геоинформатика / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др. – М. : Академия, 2005. – 480 с.

23. Кліменко І. В. Технології електронного урядування : навч. посіб. / І. В. Кліменко, К. О. Линьов. – К. : ДУС, 2006. – 225 с.

24. Коновалова Н. В. Введение в ГИС : учеб. пособие / Н. В. Коновалова, Е. Г. Капралов. – М. : ООО "Библион", 1997. – 160 с.

25. Королев Ю. К. Общая геоинформатика / Ю. К. Королев. – М. : СП ООО "Дата+", 1998.

Ч. I. Теоретическая геоинформатика. – Вып. 1. – М. : СП ООО "Дата+", 1998. – 118 с.

26. Воробьева А. А. Геоинформационные системы территориального управления / А. А. Воробьева. – СПб. : СПб НИУ информационных технологий, механики и оптики, 2012. – 130 с.

27. Басараб М. А. Цифровая обработка сигналов на основе теоремы Уиттекера–Котельникова–Шеннона / М. А. Басараб, Е. Г. Зелкин, В. Ф. Кравченко и др. – М. : Радиотехника, 2004. – 72 с.

28. Краснощеков Р. В. ГИС-технологии : словарь терминов и понятий / Р. В. Краснощеков. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2009. – 87 с.

29. Ладичук Д. О. Бази геоінформаційних даних / Д. О. Ладичук, В. І. Пічура. – Херсон : ХДУ, 2007. – 103 с.

30. Гиттис В. Г. Основы пространственного прогнозирования в геоинформатике / В. Г. Гиттис, Б. В. Ермаков. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 256 с.

31. Лебедева О. А. Картографические проекции / О. А. Лебедева. – Новосибирск : Новосибирский научно-методический центр по ГИС и ДЗЗ, 2000. – 35 с.

32. Гурьянова Л. В. Введение в ГИС / Л. В. Гурьянова. – Мн. : БГУ, 2008. – 135 с.
33. Дубровский А. В. Геоинформационные системы: управление и навигация : учеб.-метод. пособ. / А. В. Дубровский. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 96 с.
34. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография / А. П. Карпик. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 260 с.
35. Литинский П. Ю. Трехмерное моделирование структуры и динамики таежных ландшафтов / П. Ю. Литинский. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 107 с.
36. Кольцов А. С. Геоинформационные системы : учеб. пособие / А. С. Кольцов, Е. Д. Федорков. Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2006. – 203 с.
37. Костриков С. В. Дослідження самоорганізації флювального рельєфу на засадах синергетичної парадигми сучасного природознавства: монографія / С. В. Костриков, І. Г. Черваньов. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2010. – 144 с.
38. Лопандя А. В. Основы ГИС и тематического цифрового картографирования / А. В. Лопандя, В. А. Немтинов. – Тамбов : ГОУ ВПО ТГТТУ, 2007. – 72 с.
39. Середович В. А. Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация) : монография / В. А. Середович, В. Н. Ключниченко, Н. В. Тимофеева. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 117 с.
40. Лошкарева А. Геоинформационная система: теория, общая информация, руководство пользователя электронным атласом и базой данных "Сохранение биоразнообразия лососевых рыб Камчатки и их устойчивое использование" / А. Лошкарева. – М. : Изд-во ВНИРО, 2008. – 110 с.
41. Максаковский В. Л. Географическая культура / В. Л. Максаковский. – М. : Гуманит. изд. центр "ВЛАДОС", 1998. – 416 с.
42. Митчелл Э. Руководство по ГИС-анализу / Э. Митчелл. – 2000. Ч. 1. Пространственные модели и взаимосвязи. – 2000. – 177 с.
43. Морозов В. В. ГІС в управлінні водними і земельними ресурсами : навч. посіб. / В. В. Морозов. – Херсон : Вид-во ХДУ, 2006. – 88 с.
44. Морозов В. В. Геоінформаційні технології в агросфері / В. В. Морозов, К. С. Лисогоров, Н. М. Шпоринська. – Херсон : ХДУ, 2007. – 223 с.
45. Морозов В. В. Моделювання та прогнозування для проектів геоінформаційних систем / В. В. Морозов, С. Я. Плоткін, М. Г. Поляков та ін. – Херсон : ХДУ, 2007. – 328 с.
46. Объектно-ориентированная методология [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://belani.narod.ru/3/OOM.htm>. – Назва з екрана.

47. Савиных В. П. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования / В. П. Савиных, В. Я. Цветков. – М. : Картгеоцентр-Геодезиздат, 2001. – 228 с.
48. Самардак А. С. Геоинформационные системы / А. С. Самардак. – Владивосток : ТИДОИТ, 2005. – 123 с.
49. Самодумкин С. А. Управление данными в геоинформационных системах / С. А. Самодумкин, Н. А. Степанова, Н. А. Гулякина. – Минск : БГУИР, 2006. – 114 с.
50. Світличний О. О. Основи ГІС / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Суми : Університетська книга, 2006. – 296 с.
51. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
52. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и её применение / А. В. Скворцов. – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. – 128 с.
53. Суховірський Б. І. Географічні інформаційні системи : навч. посіб. / Б. І. Суховірський. – Чернігів : ЧДІЕУ, 2000. – 197 с.
54. Суховірський Б. І. Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку / Б. І. Суховірський. – К. : Знання України, 2002. – 210 с.
55. Турлапов В. Е. Геоинформационные системы в экономике: учеб.-метод. пособ. / В. Е. Турлапов. – Нижний Новгород : НФГУ-ВШЭ, 2007. – 188 с.
56. Ушкаренко В. О. Системы управління базами даних ГІС для моніторингу ґрунтів / В. О. Ушкаренко, В. В. Морозов, О. В. Морозов та ін. – Херсон : ХДУ, 2007. – 112 с.
57. Фаулер М. UML в кратком изложении. Применение стандартного языка объектного моделирования / М. Фаулер, К. Скот; пер. с англ. – М. : Мир, 1999. – 191 с.
58. Ямелинець Т. С. Застосування географічних інформаційних систем у ґрунтознавстві : навч. посіб. / Т. С. Ямелинець. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 196 с.
59. Хаксхолд У. Е. Введение в городские информационные системы / У. Е. Хаксхолд. – New York ; Oxford : Oxford University Press, 1991. – 297 с.
60. Цыганок Д. А. Геоинформационные системы / Д. А. Цыганок. – Красноярск : КГУ, 2004.
- Ч. 1, 2. Введение в ГИС. Аппаратное обеспечение ГИС. – 2004. – 112 с.
61. Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош. – М. : Техносфера, 2008. – 312 с.
62. Шайтура С. В. Геоинформационные системы и методы их создания : учеб. пособ. / С. В. Шайтура. – М. : Изд. МИИГАиК, 1995. – 164 с.

63. Шекхар Ш. Основы пространственных баз данных / Ш. Шекхар, С. Чаула. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2004. – 336 с.
64. Шипулін В. Д. Планування і управління ГІС-проектами / В. Д. Шипулін, Є. І. Кучеренко. – Харків : ХНАМГ, ХНУРЕ, 2009. – 158 с.
65. Шумаков Ф. Т. Збірник лабораторних робіт з геоінформатики / Ф. Т. Шумаков. – Харків : ХНАМГ, 2009. – 123 с.
66. Щербаков В. В. Геоинформационные системы. Структура ГИС, методы создания и использования / В. В. Щербаков. – Екатеринбург : Уралгеоинформ, 2002. – 33 с.
67. Чоговадзе Г. Г. Информация: информация, общество, человек / Г. Г. Чоговадзе. – М. : ООО "Дата"+, 2003. – 320 с. – С. 121–134.
68. Географічна інформація – Еталонна модель: Нац. стандарт України (ДСТУ ISO 19101:2002(E)). – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 65 с.
69. The NCGIA Core Curriculum in GIScience [Електронний ресурс] / M. F. Goodchild, K. K. Kemp, eds. – NCGIA University of California, Santa Barbara CA., 2000. – Режим доступу:
<http://www.ncgia.ucsb.edu/>. – Назва з екрана.
70. David J. Buckley. The GIS Primer [Електронний ресурс] / David J. Buckley. – Режим доступу:
<http://www.innovativegis.com/education/primer.html>. – Назва з екрана.
71. Joseph K. Berry. Beyond Mapping III. Understanding Spatial Patterns and Relationships [Електронний ресурс] / K. Joseph. – BASIS Press, 2007, 227 p. – Режим доступу:
<http://www.innovativegis.com/basis/MapAnalysis/>. – Назва з екрана.
72. Principles of Geographic Information Systems / Rolf A. de By (ed.). – ITC, Enschede, The Netherlands. – 490 p.
73. GIS Glossary [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis.notes/glossary.html>. – Назва з екрана ; Spatial Analysis and GIS: A Primer / Gilberto Camara and other. – Image Processing Division, National Institute for Space Research (INPE), Brazil.
74. Cheng G. Hierarchy Representation of Virtual Terrain Environment and Research into the Real Time Shading Technology: Ph. D. thesis / Zhengzhou Institute for Mapping and Surveying. – Zhengzhou, 2000. – 133 p.
75. Ивенс Р. М. Введение в теорию цвета / Р. М. Ивенс ; пер. с англ. – М., 1964. – 442 с.
76. David DiBiase, Michael DeMers, Ann Johnson, Karen Kemp, Ann Taylor Luck, Brandon Plewe, and Elizabeth Wentz – Geographic Information Science & Technology. Body of Knowledge [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<http://www.ucgis.org/> – Назва з екрана.

77. ArcGIS Desktop Help [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/>. – Назва з екрана.
78. Салищев К. А. Картоведение : учебник / К. А. Салищев. – 3-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 400 с.
79. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. – М. : Финансы и статистика, 1997. – 233 с.
80. Урманцев Ю. А. Симметрия в природе и природа симметрии (Философские и естественнонаучные аспекты) / Ю. А. Урманцев. – М. : Мысль, 1974. – 229 с.
81. Урманцев Ю. А. Эволюционика, или Общая теория развития систем природы, общества и мышления / Ю. А. Урманцев. – Пушино: ОНТИ НЦТИ АН СССР. – 1988. – 89 с.
82. Месарович М. Симметрия в природе и природа симметрии (Философские и естественнонаучные аспекты) / М. М. Месарович : Мысль, 1974. – 229 с.
83. Месарович М. Общая теория систем: математические основы / М. Месарович, Я. Такахара. – М. : Мир, 1978. – 306 с.
84. <http://ru.wikipedia.org/wiki/GRASS>
85. Середович В. А. Геоинформационные системы (назначение, функции, классификация) : монография / В. А. Середович, В. Н. Ключниченко, Н. В. Тимофеева. – Новосибирск : СГГА, 2008.
86. Шипулін В. Д. Основні принципи геоінформаційних систем : навч. посіб. / В. Д. Шипулін ; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2010. – 313 с.
87. Зацерковний В. І. Аналіз стану топографо-картографічного забезпечення як джерела даних для регіональної ГІС / В. І. Зацерковний // Вісник ЧДТУ. Серія "Технічні науки". – 2012. – № 1 (55). – С. 186–193.
88. <http://znaimo.com.ua/Гіперграфа>.
89. Пасічник В. В. Організація баз даних та знань / В. В. Пасічник, В. А. Резніченко. – К. : Видавнича група ВНУ, 2006. – 384 с.
90. Галузевий стандарт України. Правила кодування та цифрового опису векторних даних. СОУ 742-337395400012:2010. Проект. Перша редакція : у 2 т. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. Т. 2. – 2010. – 228 с.
91. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт ; пер. с англ. – 8-е изд. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2005. – 1328 с.
92. Kemp K. K. Developing a curriculum in Geographic Information Systems: The National Center for Geographic Information and Analysis Core Curriculum project / K. K. Kemp and M. F. Goodchild // Journal of Geography in Higher Education. – № 15. – 1991, (2). – P. 121–132.

93. Goodchild M. F. NCGIA education activities: the Core Curriculum and beyond / M. F. Goodchild, K. K. Kemp. – International Journal of Geographical Information Systems, 6(4), 1992. – P. 309–320.

94. Карпик А. П. Электронное геопространство – сущность и концептуальные основы / А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 41–44.

95. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения / Г. Буч. – К. : Диалектика, 1992.

96. Бусыгин Б. С. Англо-російсько-український словник з геоінформатики / Б. С. Бусигін, Г. М. Коротенко, Л. М. Коротенко та ін. – К. : Карбон, 2007. – 433 с.

Навчальне видання

**Зацерковний Віталій Іванович,
Бурачек Всеволод Германович,
Железняк Олег Олександрович,
Терещенко Андрій Олександрович**

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ
І БАЗИ ДАНИХ**

Монографія

Технічний редактор – І. П. Борис
Верстка, макетування – В. М. Косяк
Літературний редактор – Н. В. Мачужак, О. М. Лісовець
Коректор – А. М. Конівненко
Дизайн обкладинки – А. В. Новгородська

Підписано до друку __
Гарнітура Computer Modern.
Замовлення №

Формат 60x84/16.
Обл.-вид. арк. 23,72
Ум. друк. арк. 28,59

Папір офсетний.
Тираж 500 прим.



Ніжинський державний університет
імені Миколи Гоголя.
м. Ніжин, вул. Воздвиженська, 3/4
(04631)7-19-72
E-mail: vidavn_ndu@mail.ru
www.ndu.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 2137 від 29.03.05 р.