

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Лабенко Д.П., Тімонін В.О.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України як підручник
для студентів вищих навчальних закладів за напрямом підготовки
“Транспортні технології”*

Харків ХНАДУ
2012

УДК 378.14:355.235

Гриф надано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України лист №3034 від 19.10.2012 р.

Лабенко Д.П., Тімонін В.О. Геоінформаційні системи. Підручник. – Харків: ХНАДУ, 2012. – 260 с.

Даний підручник присвячений геоінформаційним системам - напрямку сучасних інформаційних технологій, що бурхливо розвиваються. Розглянута історія виникнення і розвитку ГІС-технологій, області вживання, принципи організації. Розглянута математична основа карти: популярні географічні системи координат і їх проекції на площину, включаючи проекцію Гауса-Крюгера і UTM. Розглянуті основні принципи роботи GPS - систем. Дана коротка характеристика існуючих ГІС.

Підручник призначений для студентів вищих технічних закладів освіти у галузі знань “Транспорт і транспортна інфраструктура” за напрямом підготовки “Транспортні технології” та суміжних спеціальностей освітньо-кваліфікаційного рівня – бакалавр. Може бути корисним магістрам, аспірантам, науково-педагогічним працівникам. Матеріали апробовані на протязі 7 років на факультеті Транспортних систем ХНАДУ.

Іл. 96. Табл. 10. Бібліограф. найм. 27.

Рецензенти:

д-р техн. наук, професор Є.І.Бобир, зав. каф. економічної кібернетики (Новокаховський політехнічний інститут);

д-р техн. наук, доцент К.О.Метешкін, професор кафедри геоінформаційних систем та геології (Харківська академія міського господарства).

д-р техн. наук, професор М.П.Угрюмов, професор кафедри інформатики (Харківський національний аерокосмічний університет імені Н.Е.Жуковського “ХАІ”);

ISBN _____

Лабенко Д.П., Тімонін В.О. ХНАДУ

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Поява і розвиток ГІС	10
1.1. Поняття геоінформаційних систем	10
1.2. Історія розвитку ГІС	13
1.3. Сфери використання і приклади використання ГІС	17
1.4. Схема узагальненої ГІС	22
Розділ 2. Принципи організації ГІС	28
2.1. Вступ в геоінформаційні технології	28
2.2. Загальні принципи побудови моделей даних	30
2.2.1. Основні поняття моделей даних	32
2.2.2. Класифікаційні задачі	36
2.2.3. Аспекти розгляду моделей даних	38
2.3. Базові моделі даних	41
2.3.1. Інфологічна модель	41
2.3.2. Ієрархічна модель	43
2.3.3. Квадратомічне дерево	46
2.3.4. Реляційна модель	48
2.4. Особливості організації даних в ГІС	52
2.4.1. Загальна модель геоінформаційних даних	52
2.4.2. Визначення положення точок на поверхні Землі	54
2.4.3. Координатні дані, основні типи координатних моделей ..	57
2.5. Особливості моделювання в ГІС	63
2.5.1. Основні види моделювання	63
2.5.2. Технологічні основи моделювання в ГІС	67
2.5.3. Особливості моделювання в ГІС	70
Розділ 3. Математична основа карти	86
3.1. Карта, її значення і інформаційна складність	87
3.2. Поняття про картографічні проекції. Класифікація проекцій за спотвореннями і способами проектування	88
3.2.1. Проектування еліпсоїда на площину і пов'язані з ним спотворення	89
3.2.2. Співвідношення між спотвореннями і розподіл спотворень на карті	92
3.2.3. Класифікація проекцій за видом меридіанів і паралелей нормальної сітки	93
3.3. Вибір системи координат	99

3.3.1. Географічна система координат	99
3.3.2. Поширені системи координат і картографічні проекції	100
3.3.3. Порівняння проекції Гауса – Крюгера із UTM	103
3.4. Номенклатура і розграфка топографічних карт	105
3.4.1. Побудова топографічних карт	106
3.4.2. Атрибутивний опис	112
3.4.3. Питання точності координатних і атрибутивних даних ..	113
3.5. Цифрові моделі місцевості	115
3.5.1. Основні поняття. Методи побудови	115
3.5.2. Характеристики ЦММ	120
Розділ 4. Система глобального позиціонування	127
4.1. Введення в основи системи GPS	128
4.2. Принципи роботи GPS – приймачів	137
4.3. Протокол NMEA для обміну даними GPS	141
4.4. Огляд GPS – приймачів	144
4.5. Система управління рухом автомобільного транспорту з використанням системи GPS	149
Розділ 5. Огляд сучасних ГІС	151
5.1. Internet, як геоінформаційна система	152
5.1.1. Комп'ютерні мережі	152
5.1.2. Розподілена БД. Розподілені технології	158
5.1.3. Загальна структура INTERNET	158
5.1.4. Електронна пошта	167
5.2. Інструментальна ГІС ArcInfo	170
5.3. Програмний пакет ARCVIEW GIS 3.1	177
5.4. Інструментальна ГІС MapInfo	179
5.5. AutoCad map 2000	183
5.6. Інші ГІС – програми	184
5.7. Територіальні рівні застосування ГІС.....	188
Розділ 6. Загальна теорія картографічних проекцій.....	189
6.1. Системи координат прийняті в ГІС	189
6.1.1. Система координат 1942 р. (СК-42)	192
6.1.2. Система координат WGS-84	193
6.1.3. Система координат ПЗ-90	194
6.1.4. Система координат 1995 р. (СК-95)	196
6.1.5. Перетворення координат	202
6.1.6. Методи перетворення координатних систем	205

6.2. Визначення картографічних проєкцій	208
6.3. Нескінченно мала сфероїдальна трапеція і її зображення на площині	209
6.4. Масштаби	211
6.5. Умови відображення поверхні еліпсоїда (сфери) на площину	212
6.6. Спотворення картографічних проєкцій	213
6.7. Методи перетворення картографічних проєкції при створенні карт ГІС	218
6.8. Теорія класів і окремих варіантів картографічних проєкцій	219
6.8.1. Циліндричні проєкції	220
6.8.2. Псевдоциліндричні проєкції	221
6.8.3. Конічні проєкції	222
6.8.4. Азимутальні проєкції	223
6.8.5. Перспективні азимутальні проєкції	224
6.8.6. Псевдоконічні проєкції	227
6.8.7. Псевдоазимутальні проєкції	228
6.8.8. Поліконічні проєкції	228
6.8.9. Проєкції Гауса-Крюгера і UTM	230
6.8.10. Проєкції Чебишева. Стан розв'язання загальної проблеми пошуку найкращих проєкцій	231
Глосарій	233
Список скорочень	257
Література	259

ВСТУП

У всі часи знання про просторову орієнтацію об'єктів або, просто кажучи, про їх географічне положення, були дуже важливі для людей. Наприклад, первісні мисливці завжди знали місцезнаходження своєї здобичі, а життя або смерть мандрівників наряду залежало від їх знань географії. Сучасне суспільство теж живе, працює і співпрацює, спираючись на інформацію про те, хто і де знаходиться. Прикладна географія у вигляді карт і інформації про простір допомагала здійснювати відкриття, сприяла торгівлі, підвищувала безпеку життєдіяльності людства на протязі як мінімум минулі 3000 років, а карти є одними з найкрасивіших документів, що повідомляють про історію нашої цивілізації (рис.В1.1).

Найбільш часто наші знання з області географії застосовуються до розв'язання повсякденних задач, таких як, пошук потрібної вулиці в незнайомому місті або обчислення найкоротшого шляху руху між об'єктами.

Як і багато аспектів нашого життя в останні десятиріччя, процес накопичення і використання просторових даних був сильно трансформований інтенсивним розвитком мікроелектроніки.

У другій половині минулого сторіччя людство інтенсивно розвивало інструментальні засоби, названі географічними інформаційними системами (ГІС), які **покликані посприяти в розширенні і поглибленні географічних знань.**

Геоінформаційна система - це автоматизована система, що має велику кількість графічних і тематичних баз даних, пов'язана з модельними і розрахунковими функціями для маніпулювання ними і перетворення в просторову картографічну інформацію для прийняття на її основі різноманітних рішень і здійснення контролю за ними.

Суть ГІС полягає в діяльності колективів фахівців (картографів, математиків, програмістів, управлінців тощо) по збору, системній обробці, моделюванню і аналізу просторових даних, їх відображенню і використанню при розв'язанні розрахункових задач, підготовки і прийняття рішень.

Основним призначенням ГІС слід рахувати формування знань про Землю, окремих територіях, місцевості, об'єктах на місцевості, а також своєчасне доведення необхідних просторових даних численним користувачам з метою досягнення найбільшої ефективності їх роботи.



Рис.В.1. Рисунок із книги «Древняя Русь» Петрухіна В.

Одним з основоположних принципів створення і функціонування ГІС є *системний підхід*. Він полягає в розгляді об'єкту дослідження як цілісної складної системи, що складається з ряду підсистем і має функціональні залежності і зв'язки як усередині системи, так і між її підсистемами. *Системний підхід*

забезпечує єдність створення технічного, математичного, інформаційного і лінгвістичного забезпечення, їх сумісність, визначає методи дослідження і проектування ГІС, її структуру (рис.В.2).

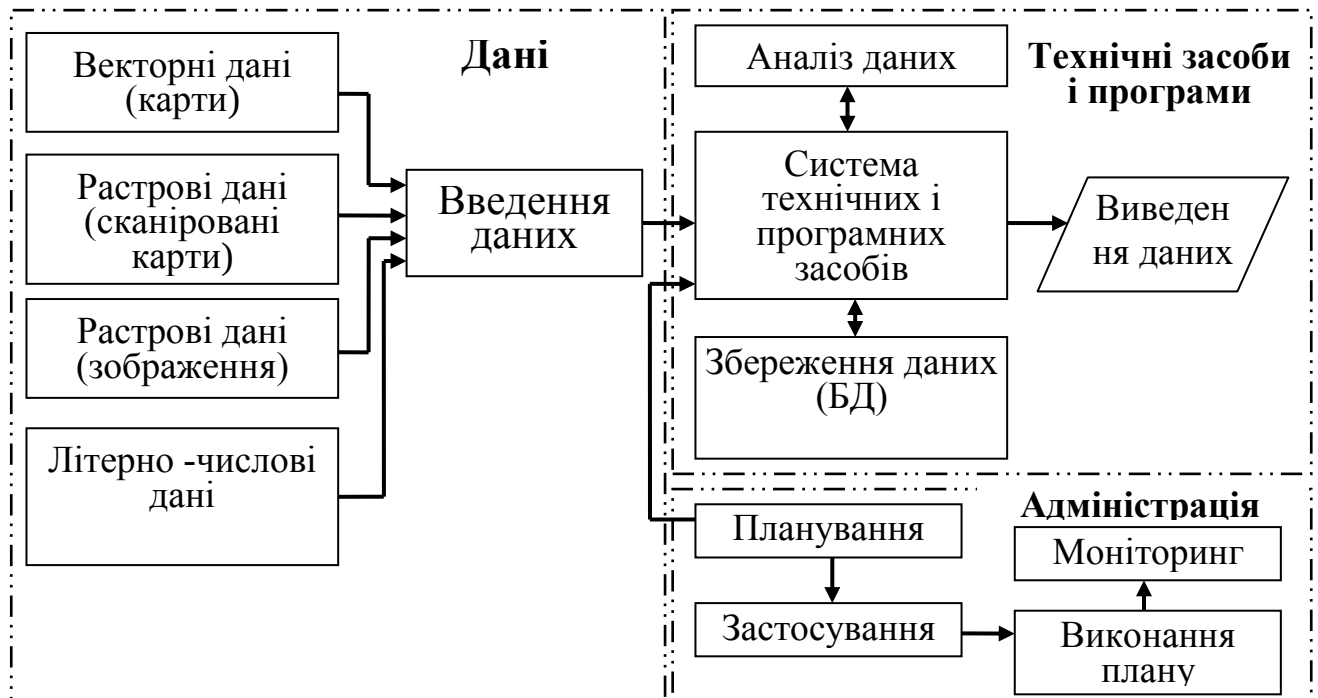


Рис.В.2. Структура геоінформаційної системи

Сучасні підходи до створення систем управління рухом автомобільного транспорту допускають широке використання сучасних методів геодезичних вимірювань, в першу чергу **GPS - технологій**. Супутникова радіонавігаційна система або, як вона ще називається, глобальна система визначення місцеположення GPS (Global Position System) забезпечує високоточне визначення координат і швидкості об'єктів в будь-якій точці земної поверхні, у будь-який час доби, в будь-яку погоду, а також точне визначення часу.

Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) є новим типом інтегрованих інформаційних систем, які, з одного боку, включають методи обробки даних раніше існуючих автоматизованих систем (АС), з другого - володіють специфікою в організації і обробці даних. Практично це визначає ГІС як багатоцільові, багатоаспектні системи.

Зокрема, як системи управління ГІС є новою основою автоматизованих систем управління (АСУ). Це обумовлює

підвищене значення ГІС - сучасного засобу організації багатьох видів виробництв.

Оснoву процесів обробки складає цифрове моделювання. Воно дозволяє здійснювати векторно-топологічне моделювання, буферизацію об'єктів, аналіз мереж, побудову цифрових моделей місцевості тощо.

У інструментальних системах підтримується набір моделей (цифрових уявлень) просторових даних (векторна, топологічна і нетопологічна моделі, квадродерево, растрова модель, лінійні мережі) для введення даних, їх аналізу, моделювання і представлення.

ГІС нового покоління відрізняє орієнтація на призначені для користувача моделі даних з урахуванням предметної області і особливостей додатків. Їх моделі даних визначаються класами об'єктів, наборами атрибутів, розширеними можливостями реалізації запитів і операцій над об'єктами в порівнянні з попереднім поколінням. Вони дозволяють обробляти геоінформаційні дані за розподіленою технологією, що підвищує гнучкість і продуктивність систем.

Як правило, модулі і додатки утворюють єдине призначене для користувача середовище інструментальних ГІС. До ядра підключаються тематично орієнтовані модулі, які доповнюються додатками для управління моделями даних, побудови цифрових моделей, обробки растрових зображень, виконання розрахунків, аналізу і проектування, організації інтерфейсів. При цьому є можливість підключення модулів, розроблених конкретним користувачем. Це підвищує універсальність систем і ефективність при розв'язанні нетипових задач.

Розділ 1. ПОЯВА І РОЗВИТОК ГІС

1.1. Поняття геоінформаційних систем

Дані, накопичувані про реальні об'єкти і явища нашого світу, в тій чи іншій мірі містять так звану "**просторову**" складову.

Просторовий аспект в інформації мають будівлі і споруди, земельні ділянки, водні, лісові і інші природні ресурси, транспортні магістралі і інженерні комунікації.

Не можна знайти реальний матеріальний об'єкт або подію, пов'язану з об'єктом, які б не мали координат на поверхні Землі, і які не можна б було відобразити на карті. Всім відомо, що карта - це дуже наглядний спосіб опису деякої території.

По кожному об'єкту, відображеному на цифровій карті, в пам'яті комп'ютера зберігається *атрибутивна* (описова) інформація. Її можна обробити статистичними методами і відобразити результати такого аналізу безпосередньо "наклавши" їх на карту.

Існує багато визначень поняття ГІС. На наш погляд, найприйнятніші і придатні наступні два визначення.

Геоінформаційна система (ГІС) - автоматизована інформаційна система, призначена для обробки просторово-часових даних, основою інтеграції яких служить географічна інформація.

Або іншими словами:

ГІС визначається як комплекс, що включає персонал, технічні засоби програмне забезпечення і призначений для введення, зберігання, обробки інформації про території (об'єктах на території) з метою аналізу цієї інформації, моделювання результатів аналізу і відображення отриманих моделей при розв'язанні задач планування і управління (рис.1.1).

Аналіз місця ГІС серед інших автоматизованих систем дозволяє зробити висновок про те, що комплексна автоматизована обробка інформації в ГІС не має прямих аналогів з технологією обробки в інших автоматизованих системах. В той же час ГІС поєднує в собі на різних етапах перетворення інформації, обкатані елементи технологій інших систем (систем автоматизації проектування, експертних систем, а також автоматизованих систем

для наукових досліджень або управління виробництвом). Через це, в ГІС присутні властивості, властиві іншим автоматизованим системам.

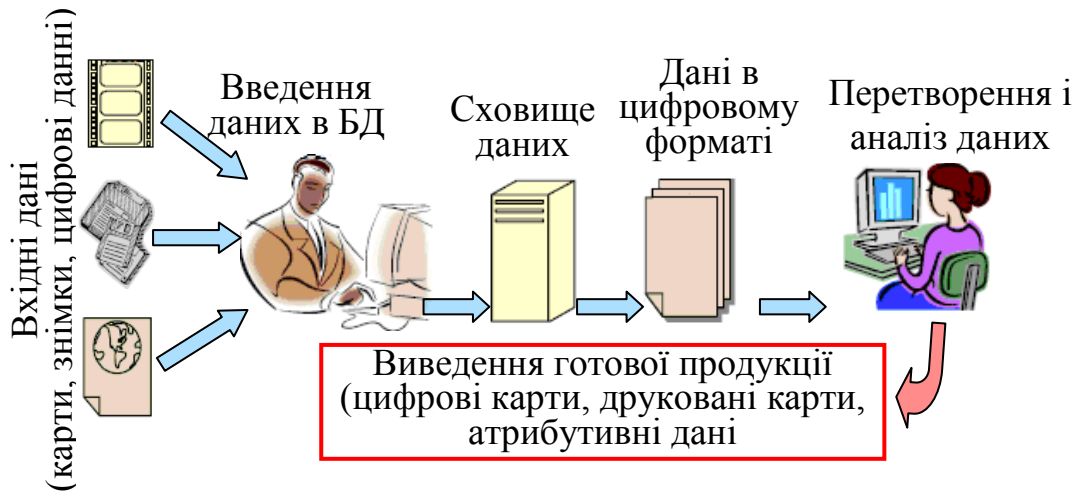


Рис. 1.1. Схема геоінформаційної системи.

Інтеграція технологій в інформаційних системах передбачає не просте підсумовування відомих технологічних процесів і рішень, а отримання оптимальних технологічних рішень обробки інформації на основі відомих методів і розробки нових технологій.

Це досягається шляхом використання різного спеціального математичного і програмного забезпечення, які з погляду науковості і технологічності взаємозв'язані.

У ГІС здійснюється комплексна обробка інформації - від її збору до зберігання, оновлення і представлення, у зв'язку з цим слід розглянути ГІС з різних позицій.

Як системи управління ГІС призначені для забезпечення прийняття рішень по оптимальному управлінню землями і ресурсами, міським господарством, по управлінню транспортом і роздрібною торгівлею, використуванню океанів або інших просторових об'єктів. При цьому для прийняття рішень в числі інших завжди використовують картографічні дані.

На відміну від АСУ в ГІС з'являється безліч нових технологій просторового аналізу даних. Через це ГІС служать могутнім засобом перетворення і синтезу різноманітних даних для задач управління.

Як *автоматизовані інформаційні системи* ГІС об'єднують ряд технологій або технологічних процесів відомих інформаційних систем типу автоматизованих систем наукових досліджень (АСНД), систем автоматизованого проектування (САПР), автоматизованих довідково-інформаційних систем (АДІС) тощо. Основу інтеграції технологій ГІС складають технології САПР. Оскільки технології САПР достатньо апробовані, це, з одного боку, забезпечило якісно більш високий рівень розвитку ГІС, з іншого - істотно спростило розв'язання проблеми обміну даними і вибору систем технічного забезпечення. Цим самим ГІС стали в один ряд з автоматизованими системами загального призначення типа САПР, АСНД, АДІС.

Як *геосистеми* ГІС включають технології (перш за все технології збору інформації) таких систем, як географічні інформаційні системи (ГІС), системи картографічної інформації (СКІ), автоматизовані системи картографування (АСК), автоматизовані фотограметричні системи (АФС), земельні інформаційні системи (ЗІС), автоматизовані кадастрові системи (АКС) і т.п.

Як *системи, що використовують бази даних*, ГІС характеризуються широким набором даних, які збираються за допомогою різних методів і технологій. При цьому слід підкреслити, що вони об'єднують в собі як бази даних звичайної (цифрової) інформації, так і графічні бази даних. У зв'язку з великим значенням експертних задач, що розв'язуються за допомогою ГІС, зростає роль експертних систем, що входять до складу ГІС.

Як *системи моделювання* ГІС використовують максимальну кількість методів і процесів моделювання, що використовуються в інших автоматизованих системах.

Як *системи отримання проектних рішень* ГІС багато в чому застосовують методи автоматизованого проектування і вирішують ряд спеціальних проектних задач, які в типовому автоматизованому проектуванні не зустрічаються.

Як *системи представлення інформації* ГІС є розвитком автоматизованих систем документаційного забезпечення (АСДЗ) з використанням сучасних технологій мультимедіа. Це визначає велику наглядність вихідних даних ГІС в порівнянні із звичними

географічними картами. Технології виведення даних дозволяють оперативно одержувати візуальне представлення картографічної інформації з різними навантаженнями, переходити від одного масштабу до іншого, одержувати атрибутивні дані в табличній або графічній формі.

Як *інтегровані системи* ГІС представляють собою приклад об'єднання різних методів і технологій в єдиний комплекс, створений при інтеграції технологій на базі технологій САПР і інтеграції даних на основі географічної інформації.

Як *прикладні системи* ГІС не мають собі рівних за широтою вживання, оскільки використовуються на транспорті, в навігації, геології, географії, військовій справі, топографії, економіці, екології і т.д. Завдяки широким можливостям ГІС на їх основі інтенсивно розвивається тематичне картографування.

Як *системи масового користування* ГІС дозволяють застосовувати картографічну інформацію на рівні ділової графіки, що робить їх доступними будь-якому школяреві або бізнесмену, не тільки фахівцю географу. Саме тому при прийнятті рішень на основі ГІС - технологій не завжди створюють карти, але завжди використовують картографічні дані.

1.2. Історія розвитку ГІС

Абревіатура ГІС розшифровується буквально як географічна інформаційна система або геоінформаційна система. Можна розглядати ГІС як набір апаратних і програмних інструментів, що використовуються для введення, зберігання, маніпулювання, аналізу і відображення просторової (первинно географічної) інформації. Термін геоінформаційна став сьогодні позначати вже щось більше, ніж його розгорнений варіант. Чому, – стане зрозуміло далі.

Першою ГІС прийнято вважати систему, створену в 1962 році в Канаді Аланом Томлінсоном, яка так і називалася Канадська Географічна Інформаційна Система. Перші ГІС займали цілі кімнати, де розміщувалися обчислювальна апаратура і безліч полиць, заповнених перфокартами з просторовою і описовою інформацією про об'єкти (координатами). Через високу вартість такі

ГІС були нечисленні і доступні тільки крупним державним організаціям, а також організаціям, що управляють експлуатацією природних ресурсів. Розвиток ГІС в сучасному їх розумінні і ролі як технології, поза сумнівом, пов'язаний з бурхливим розвитком інформаційних технологій в цілому і, в першу чергу, з розвитком апаратної бази.

Три джерела народження ГІС-технологій. ГІС-технології призначені для роботи з будь-якими даними, що мають просторово-часову прив'язку, що зумовило їх швидке розповсюдження і широке використання в багатьох галузях науки і техніки, і перш за все, в областях пов'язаних із застосуванням карт і планів. Значення карти важко переоцінити в різних сферах діяльності людини і суспільства в цілому. Цифрова геодезія і цифрова картографія (Automated Mapping, АМ) стали природним продовженням традиційних наук і *першим* з трьох джерел ГІС-технологій. Вони навчилися добре описувати, структурувати, зберігати і обробляти просторову геодезичну і картографічну інформацію, розв'язувати задачі картографічної алгебри. *Другим джерелом* став розвиток систем управління базами даних (СУБД), що забезпечило раціональні методи зберігання всіх видів інформації і реальний час доступу до даних навіть за умови їх розподіленого зберігання, а іноді завдяки ньому.

Звичні (непросторові) дані, якимось чином пов'язані з просторовими даними, називаються в ГІС *атрибутивною інформацією*. Вже ці два компоненти мають могутній потенціал, що дозволив ефективно розвиватися цифровій картографії і автоматизації управління інженерними мережами і комунікаціями (Facilities Management, FM). Просторова інформація FM-систем, багато в чому будувалася на інформації про проекти інженерних мереж, побудованих в системах автоматизованого проектування (CAD). В кінці 80-х в США з'явилися перші природоохоронні ГІС. В цей час Wilderness Society і Sierra Biodiversity Institute провели перше картографування вікових лісів з використанням ГІС-технологій, аеро- і космічної зйомки. На початку 90-х, Служба Риби і Дичина США (U.S. Fish and Wildlife Service) розпочала проект аналізу системи природних територій із застосуванням ГІС (GAP-

аналіз), її відповідності різноманітності екосистем, що охороняються, у всіх штатах США.

Проте, і ці ГІС все ще вимагали досить дорогих програмних і апаратних засобів (високопродуктивних робочих станцій), і не виходили на рівень масових технологій. Зробити третій, і останній, крок для виходу на рівень масової технології дозволив розвиток обчислювальних і мережних можливостей масового персонального комп'ютера до рівня можливостей робочої станції.

Перші загальнодоступні, повнофункціональні ГІС, здатні працювати на персональних комп'ютерах, з'явилися в 1994 році (ArcView 2.0). З того часу і почався бурхливий розвиток ГІС як масової технології. ГІС-технології зробили широкий крок в життя при розв'язанні різних масових задач: управління; торгівлі, транспорту і складського господарства; сільського господарства; екології і природокористування; охорони здоров'я; туризму; будівництва; оптимального інвестування і т.д.

У історії розвитку ГІС виділяються 4 періоди (етапи):

1. Піонерський період (початковий період) (1955-1975 рр.)

Перші роботи з ГІС-технологій почали проводитися в Канаді і спочатку використалися в основному для цілей землеустрою. В цей період відбувалося дослідження принципів можливостей в прикордонних областях знань і технологій, напрацювання емпіричного досвіду, перші проекти і теоретичні розробки. Основним поштовхом до цього з'явилося:

- поява електронних обчислювальних машин (ЕОМ) в 50-х роках;
- поява обцифровувачів, плотерів, графічних дисплеїв і інших периферійних пристроїв в 60-х.;
- створення програмних алгоритмів і процедур графічного відображення інформації на дисплеях і за допомогою плотерів;
- створення формальних методів просторового аналізу;
- створення програмних засобів управління базами даних.

2. Період державних ініціатив (1975-1985 рр.) Державна підтримка стимулювала розвиток крупних експериментальних геоінформаційних проектів, заснованих на використуванні БД до вуличних мереж:

- автоматизованих систем навігації;

- систем вивозу міських відходів і сміття;
- руху транспортних засобів в надзвичайних ситуаціях і т.д.

У цей час формуються державні інститути в області ГІС.

3. Період комерційного розвитку (1985-1990 рр.) Розширення ринку різноманітних програмних засобів, розвиток настільних ГІС, розширення області їх застосування за рахунок інтеграції з базами просторових даних, поява мережних додатків, поява значного числа непрофесійних користувачів, підтримка корпоративних і розподілених баз геоданих.

4. Період користувача (90-і роки по теперішній час). Підвищена конкуренція серед комерційних виробників геоінформаційних технологій і послуг дає переваги користувачам ГІС, доступність і “відвертість” програмних засобів дозволяє користувачам самим адаптувати програми, поява призначених для користувача клубів, телеконференцій, збільшена потреба в геоданих, початок формування світової геоінформаційної інфраструктури.

Основу привабливості ГІС-технологій складають:

- наочність просторового представлення результатів аналізу баз даних;
- могутні можливості інтеграції даних, у тому числі, можливості сумісного дослідження факторів атрибутивної інформації, які мають просторовий перетин;
- можливості зміни просторової інформації за наслідками сумісного аналізу баз атрибутивних і просторових даних.

Якщо ж говорити про початок цифрової картографії, то перша в світі цифрова модель місцевості (ЦММ, DTM – Digital Terrain Model) була створена в 1957 професором Масачусетського технологічного інституту Міллером. Вона була цифровою моделлю рельєфу і призначалася для проектування автодоріг. Надалі ЦММ стали застосовуватися в інших областях. Картографи і геодезисти усвідомили, що вони можуть служити основою автоматизації картографування. В СРСР перші спроби створення ЦММ були зроблені в 1960-х роках. Але вже на початку 70-х були запуснені супутники, що забезпечили глобальне покриття земної кулі стерео зйомкою для створення карт масштабу 1:50000 неперевершеної якості.

У міру того, як ми входимо в четверте десятиріччя інформаційної революції в ГІС, одна з найпростіших вимог користувачів до просторових даних - отримання високоякісних тривимірних даних – все ще залишається найскладнішою проблемою. Людям, що займаються тривимірним моделюванням і розробкою програмного забезпечення для імітації руху об'єктів в просторі, необхідні цифрові моделі рельєфу і місцевості (ЦМР і ЦММ), все більше число фахівців розглядають варіант переходу від двовимірних до тривимірних геоінформаційних систем.

1.3. Сфери використання і приклади використання ГІС

У даний час геоінформаційні технології проникли практично у всі сфери життя. ГІС застосовуються при розв'язанні задач, в яких використовується картографічна і просторова інформація (рис.1.2).



Рис.1.2. Сфери використання ГІС

На сьогоднішній день сповна склалися наступні сфери використання:

1. картографія і інженерна геодезія (створення і оновлення карт і планів);
2. управління інженерними мережами і комунікаціями;
3. управління охороною (екологія) і розробкою природних ресурсів;

4. управління підприємствами і бізнесом (у тому числі, транспортом і вантажоперевезеннями, територіально-економічний аналіз, тощо);

5. управління територіями (у тому числі землекористуванням, власністю, будівництвом доріг);

6. просторова навігація;

7. наука і освіта;

8. інформаційна комунікація в соціумі.

На рис.1.3 представлені зв'язки ГІС з іншими дисциплінами.



Рис.1.3. Зв'язок ГІС з науковими дисциплінами

Перша сфера використання обслуговує як власні потреби, так і дає просторову основу для всієї решти сфер. Просторова навігація і інформаційна комунікація є сферами доступними сьогодні практично будь-якому охочому, решта сфер обслуговує управління.

Навігація і інформаційна комунікація в соціумі. Використовування ГІС-web-сервісів подібних сайту <http://map.Meta.ua> (рис.1.4).

Управління бізнесом. Комерційні фірми використовують ГІС для вибору місця розташування нових супермаркетів: розташування складу і зони обслуговування визначаються шляхом моделювання доставки і впливу конкуруючих складів. ГІС використовують також і для управління поставками.

Управління територіями. Задачі управління окружним, обласним або муніципальним господарством – одна з найбільших областей додатків ГІС. В будь-якій сфері діяльності адміністрації (обстеження земель, управління землекористуванням, заміна технології діловодства, управління ресурсами, облік перебування власності і нерухомості, дорожніх магістралей) застосовуються ГІС - технології. Вони використовуються на командних пунктах

управління центрів моніторингу і МНС. ГІС – сьогодні невід'ємний компонент будь-якої муніципальної або регіональної інформаційної системи управління (рис.1.5).

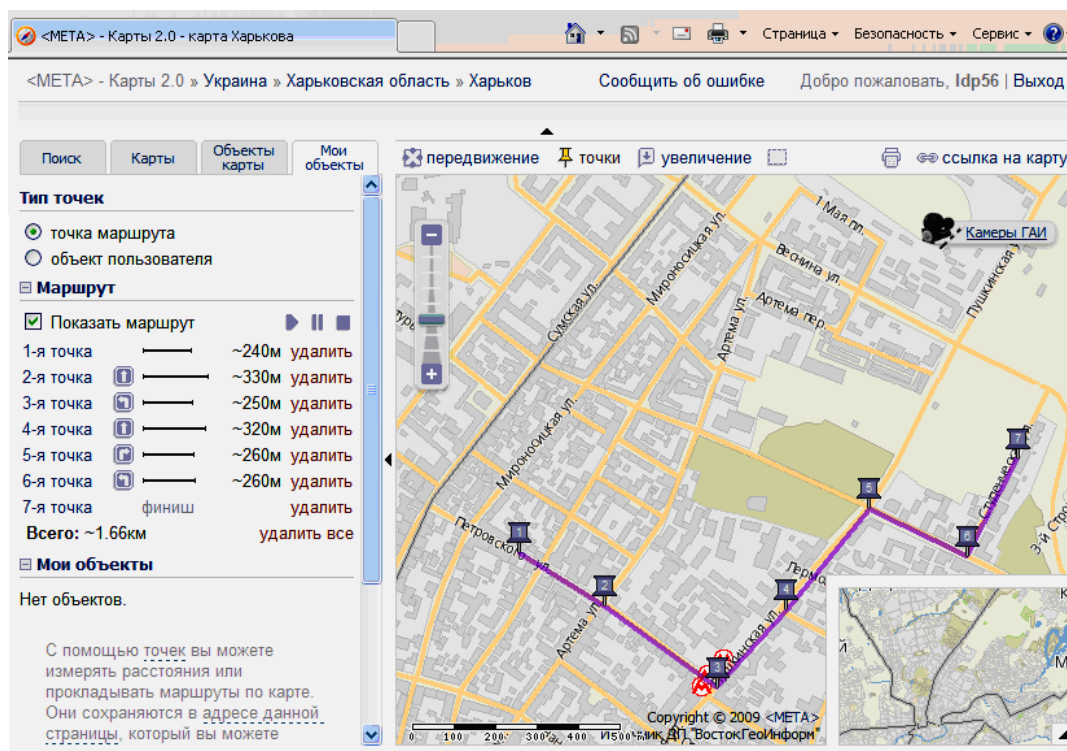


Рис.1.4. Прокладка і вимірювання в Meta.ua маршруту руху по вулицях на карті м. Харкова.

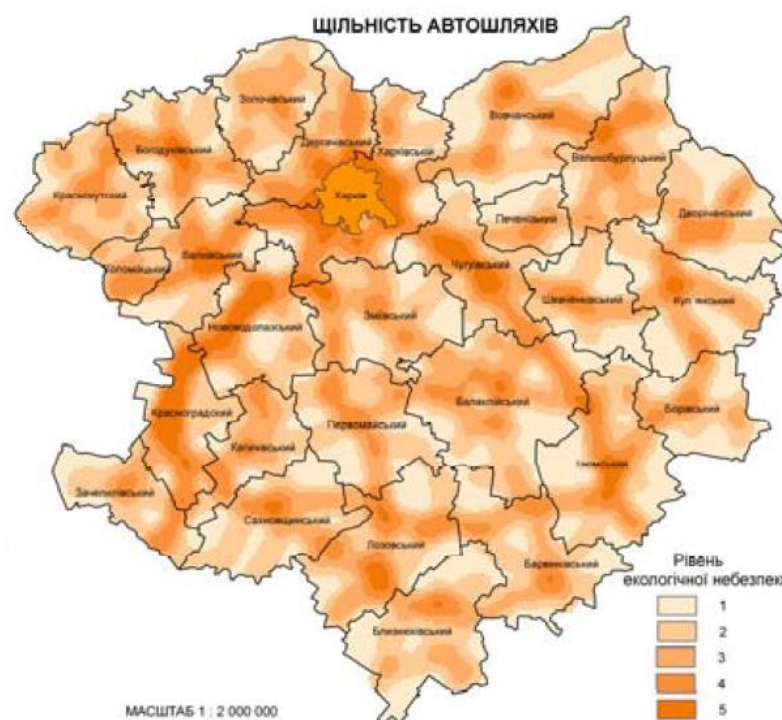


Рис.1.5. Приклад аналізу завантаженості автомобільних доріг із застосуванням колірного діапазону в Харківській області

Для охорони навколишнього середовища практично у всіх країнах створюються (або вже створені) спеціальні центри екологічної безпеки (ЦЕБ), оснащені сучасними ГІС-технологіями. ГІС цих служб використовують цифрові карти, створені аерогеодезичними підприємствами, а іноді самі готують такі карти на основі наявних паперових. Особливо ефективний в екологічних ГІС апарат побудови буферних зон і задач картографічної алгебри. Екологічні ГІС сьогодні уміють вирішувати безліч задач життєво важливих для регіону, у тому числі задач з використанням тривимірному рельєфу (рис.1.6).

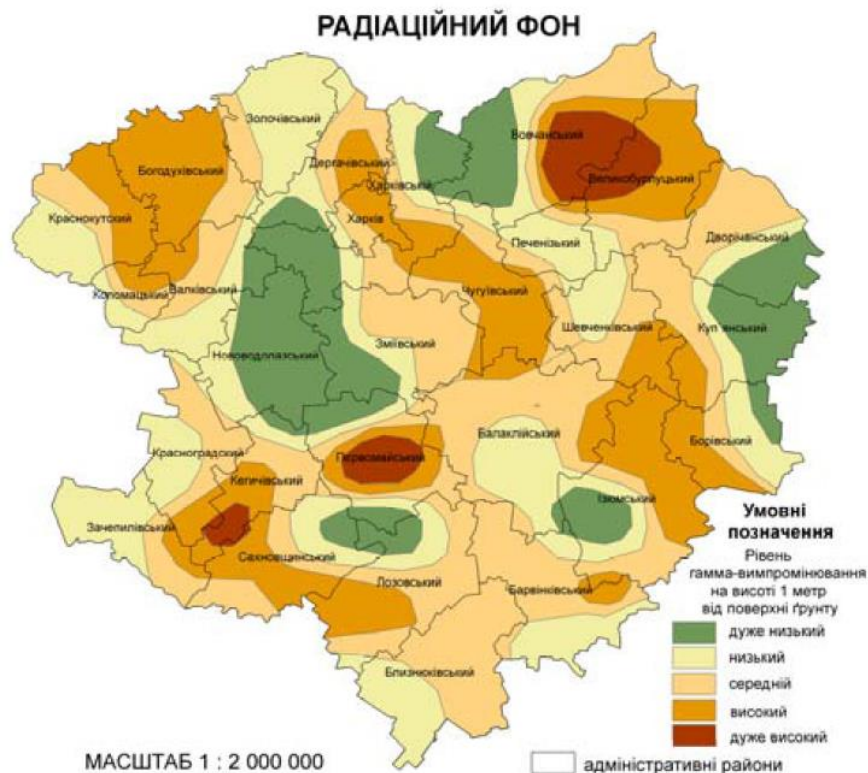


Рис.1.6. ГІС (на базі Карта 2008) центру екологічної безпеки Харківської області

Інженерні мережі. Організації, що забезпечують комунальні послуги, найбільш активно використовують ГІС для управління інженерними комунікаціями (трубопроводи, кабелі, трансформатори, підстанції тощо). Аналогічні задачі розв'язуються і інженерними службами крупних підприємств. В задачі ГІС цієї сфери вживання часто входить прогноз поведінки інженерних мереж у відповідь на відхилення від норми, а також засобу проектування мереж на рельєфі і картографування прокладки комунікацій. Визнаними лідерами інженерних ГІС є могутні

інструментальні системи AutoCAD Map і AutoCAD Civil фірми Autodesk (рис.1.7.).

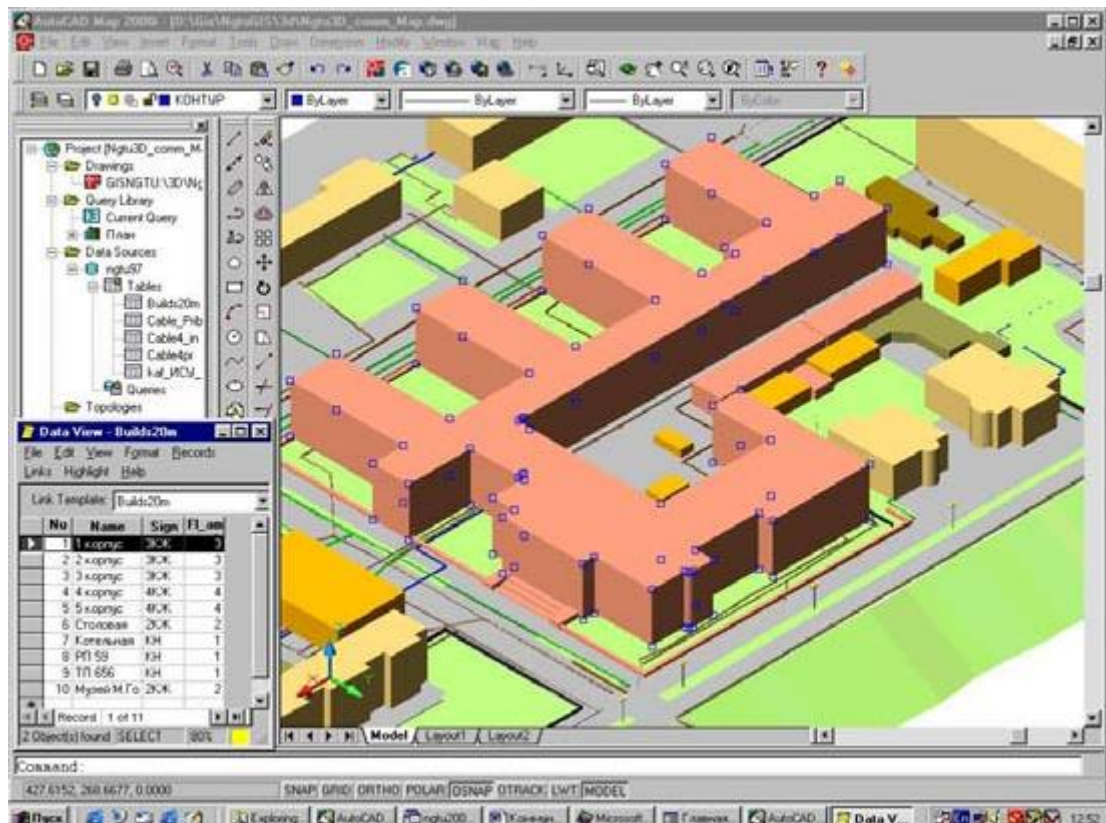


Рис.1.7. ГІС для управління інженерними комунікаціями на базі AutoCAD Map

Транспорт. ГІС мають величезний потенціал для планування і підтримки транспортної інфраструктури. Сьогодні це особливо ефективно, оскільки є можливість використовувати GPS-приймачів для контролю за рухом будь-яких автомобілів і іншого транспорту, станом вантажу, що перевозиться, і т.д.

Очевидно, що для всіх сучасних організацій, особливо для організацій, що безпосередньо управляють територіями, ГІС є кращим способом зберігати інформацію про ділянку суші або моря, над ним і під ним.

При системному підході процес розробки ГІС інтерпретується як пошук оптимальної структури системи шляхом розбиття її на підсистеми. При цьому реалізується концепція розробки зверху "вниз".

На рис.1.8 приведений приклад прокладки маршруту руху автомобіля від с. Велика Данілівка – с. Пісочин через м. Харків за даними GPS.

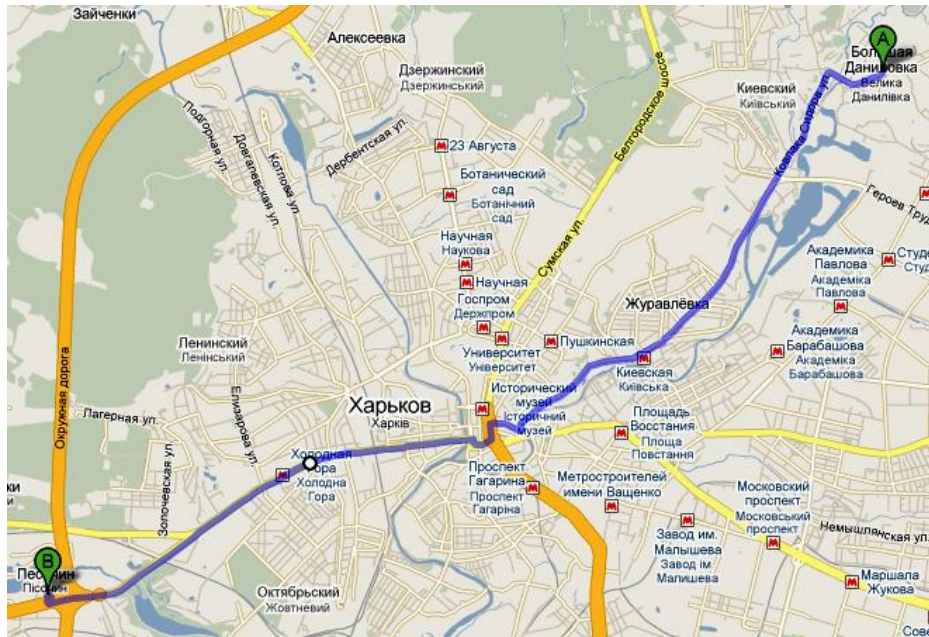


Рис. 1.8. Контроль маршруту руху

1.4. Схема узагальненої ГІС

Побудову схеми узагальненої ГІС можна здійснити на основі аналізу вхідних/вихідних інформаційних потоків, що функціонують в автоматизованій системі.

Функціональними складовими ГІС як програмно-технічного комплексу є: *дані; програмне забезпечення; апаратне забезпечення; персонал; функціональні можливості.*

Дані - будь-яка просторова інформація і пов'язана з нею таблична (атрибутивна) інформація. ГІС є одночасно засобом зі створення даних і управління ними.

Джерелами даних для ГІС є:

- наявні карти (у тому числі у вигляді слайдів постійного зберігання);
- геодезичні дані точного вимірювання координат і метричної інформації
- поверхні: повітряні, наземні, підземні, водні, космічні;
- аерокосмічне фотографування і сканування, стереофото-зйомка;
- дані з архітектурно-будівельних і інженерно-комунікаційних САПР (CAD).

Програмне забезпечення - функції і інструменти, необхідні для управління, аналізу і візуалізації просторової інформації, а також управління ГІС в цілому.

Апаратне забезпечення - комп'ютер, на якому працює ГІС, а також засоби введення-виведення (сканери, GPS-приймачі, принтери, плотери тощо). ГІС можуть працювати на різних типах комп'ютерних платформ, від централізованих серверів до окремих або зв'язаних мережею персональних комп'ютерів (ПК).

Персонал. Створення і управління ГІС неможливе без людей. Персоналом ГІС є як технічні фахівці, що розробляють і підтримують систему, створюють і підтримують в актуальному виді дані, так і безпосередні користувачі.

Функціональні можливості - методологічний і алгоритмічний апарат, закладений в ГІС. Сучасні ГІС включають засоби розробки, що дозволяють нарощувати функціональність і перетворювати універсальні ГІС на спеціалізовані системи для конкретних галузей, сфер знання, виробничих колективів.

Сукупність вхідних і вихідних даних ГІС може бути представлена у вигляді незалежних технологічних сукупностей трьох груп:

- збору;
- моделювання і зберігання;
- представлення.

Дійсно, збір інформації проводиться незалежно від зберігання даних. Дані зберігаються незалежно від процедур збору і представлення інформації. На представлення (видачу) інформації в тій або іншій формі дається завдання незалежно від способів моделювання.

Ці умови є достатніми для того, щоб представити вхідні X і вихідні Y потоки узагальненої ГІС у вигляді незалежних сукупностей (у формі декартових добутків), аналогічно виразу:

$$\begin{aligned} X &= (X_i \otimes TЗ_c \otimes TЗ_m \otimes TЗ_n); \\ Y &= (X_y \otimes ЦММ \otimes ЦМК), \end{aligned} \quad (1.1)$$

де

– $TЗ_c$ - технічне завдання на збір інформації;

- $TЗ_M$ - технічне завдання на зберігання, оновлення і моделювання;
- $TЗ_{II}$ - технічне завдання на представлення даних після остаточної обробки;
- X_i - множина первинних даних, вимірюваних або збираних за допомогою різних технологій;
- X_y - множина уніфікованих даних, які одержані після збору і первинної обробки;
- **ЦММ** - цифрова модель місцевості, що зберігається в базі даних ГІС;
- **ЦМК** - цифрова модель карти, що згенерована для візуального представлення інформації на дисплеї або для друку;
- $\otimes$ - декартовий добуток.

У рамках даної теорії цифрова модель карти є відображенням цифрової моделі місцевості за допомогою засобів комп'ютерної візуалізації. Вживання ЦММ і ЦМК наочно простежується в технології роботи модульної системи MGE (Modular GIS Environment) і ряду інших пакетів ГІС. В цій системі аналогом цифрової моделі місцевості виступають об'єкти бази даних і графічна інформація, аналогом цифрової карти - проект (карти). Для відображення проекту здійснюють перетворення проекту в креслення - генерацію креслення. Візуальному представленню ЦМК відповідає згенероване креслення. Іншими словами, ЦМК можна визначити як результат формування ЦММ для візуального відображення у вигляді карти.

Множина X є складною сукупністю даних, які одержані за допомогою різних технологій: за фотознімками, геодезичними методами на місцевості, за картами, за допомогою системи GPS (Global Position System), із архівних табличних даних і т.д.

На основі ОТС з урахуванням виразу (1.1) представимо узагальнену ГІС у вигляді стратифікованої трирівневої структури:

$$\begin{aligned}
 & \text{УСО: } X_i \otimes TЗ_C \otimes HT_M \rightarrow X_y; \\
 & \text{УМХ: } X_y \otimes TЗ_M \otimes HT_{II} \rightarrow \text{ЦММ}; \\
 & \text{УП: } TЗ_{II} \otimes \text{ЦММ} \rightarrow \text{ЦМК},
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

де

- **УСО** - системний рівень збору і первинної обробки інформації;
- **УМХ** - системний рівень моделювання, зберігання і оновлення;
- **УП** - системний рівень представлення даних;
- **НТм, НТп** - нормативні вимоги до даних при моделюванні і представленні інформації відповідно, вони є аналогами проміжних висхідних інформаційних потоків.

Для концептуальної побудови ГІС згідно (1.2) необхідно визначити НТм, НТп, тобто інформаційну основу.

Таким чином, застосовуючи системний підхід, можна побудувати структурну схему узагальненої ГІС у вигляді трирівневої структури (рис. 1.9) і за цими рівнями проводити порівняння різних ГІС між собою, а також порівняння ГІС і інших автоматизованих систем.

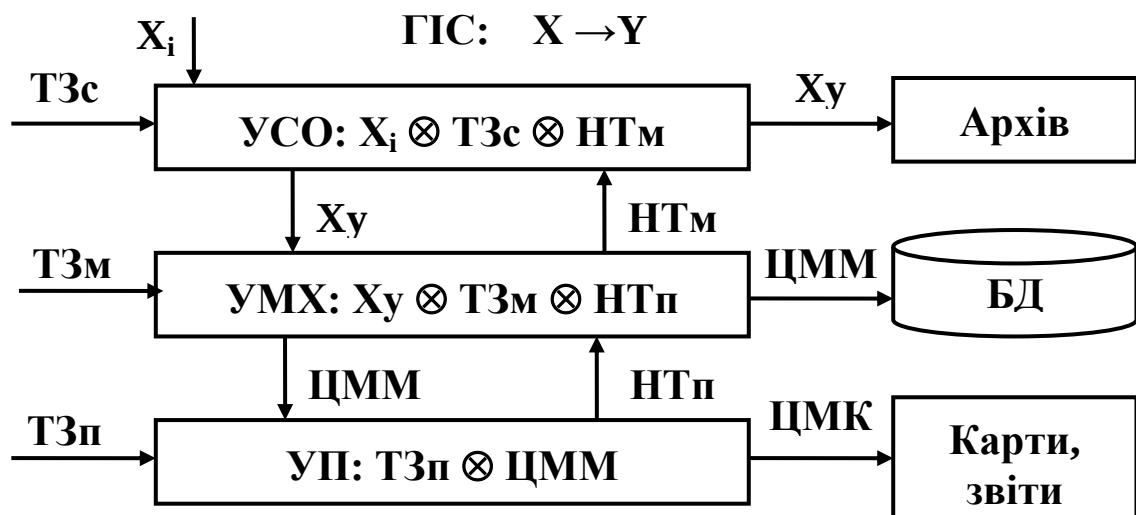


Рис.1.9. Схема узагальненої ГІС

Нормативні вимоги в (1.2) визначаються при подальшому аналізі, тобто при переході до наступних етапів побудови.

Ми використовуємо термін *узагальнена ГІС*, оскільки абстрагуємося від конкретного її вживання.

Функціонування узагальненої ГІС згідно її формалізованого опису (1.2) і схеми (рис. 1.9) здійснюється наступним чином.

На першому системному рівні (УСО) відбувається збір первинних даних X_i , які одержуються за різними методами і технологіями і тому мають різні структуру, формат і представлення.

В ході первинної обробки ці різномірні дані коректуються і уніфікуються. В результаті формується уніфікована підмножина даних X_y , яка частково зберігається у вигляді архівів і повністю передається на рівень моделювання і зберігання (УМХ).

На другому системному рівні (УМХ) здійснюються:

- аналіз уніфікованої інформації X_y ;
- встановлення зв'язків між частинами моделі;
- усунення надмірності інформації, якщо така є;
- перевірка на цілісність і несуперечність даних;
- визначення первинних і зовнішніх ключів;
- формування метаданих.

Підмножина X_y містить необхідні дані для побудови ЦММ, яка зберігається в базі даних у вигляді сукупності графічної і символічної інформації. ЦММ служить основою для розв'язання прикладних задач на базі різних методів моделювання. Ці процеси також відбуваються на рівні УМХ.

У результаті обробки сформована ЦММ або результат її використання готуються для візуального представлення. Для цього вона передається на третій системний рівень (УП).

На третьому системному рівні (УП) ЦММ перетворюється в цифрову модель карти, яка і служить основою представлення інформації.

Аналізуючи групи задач обробки даних на трьох системних рівнях, можна виділити наступне.

На першому рівні найбільш широко представлені задачі первинної обробки інформації: розпізнавання, структуризації, декомпозиції, компоновки, вимірювання, стиснення, контролю, уніфікації.

Для другого рівня визначаючими є задачі типізації, геометричного перетворення, експертного типу, побудови цифрових моделей, синтезу і т.п.

На третьому рівні найбільш значущі задачі оптимізації, компоновки, синтезу і т.п.

Природно, що різні задачі і методи моделювання можуть бути різною мірою присутні на кожному рівні, але вид рівня визначає їх значення.

У загальному виді ГІС може включати підсистеми, наведені в табл. 1.1.

При зборі первинної інформації основним є семантичне моделювання. Інваріантне моделювання має пріоритет на другому рівні. Евристичне моделювання займає провідне місце при інтерактивній обробці і в процесах контролю і корекції. Нарешті, інформаційне моделювання є основним в підсистемах забезпечення документації.

Таким чином: незалежно від виду інструментальної системи, що становить основу конкретної ГІС, будь-яка ГІС повинна володіти загальними ознаками і властивостями узагальненої ГІС.

ГІС визначається як *повна* (інформаційна система), якщо в ній присутні всі три системні рівні, визначені вище. Інакше говорять про *неповну* ГІС.

Таблиця 1.1.

Підсистеми моделювання, які включені в ГІС

Підсистема	Системні рівні		
	I	II	III
	УСО	УМХ	УП
Семантичне моделювання (кодування збираної інформації)			
Імітаційне моделювання (контроль вхідної інформації)			
Геометричне моделювання			
Імітаційне моделювання (контроль модельних рішень)			
Корекція інформації (на основі векторних або скалярних критеріїв)			
Інтерактивне (евристичне) моделювання			
Семантичного моделювання (кодування інформації, яка зберігається в БД)			
Забезпечення документації			

Даний метод аналізу застосовний не тільки до ГІС, але і до будь-якої автоматизованої системи, включаючи САПР, АДС, АСУ. Таким чином, будь-яка інформаційна система, система управління за аналогічних заданих умов (1.1) представима у вигляді трирівневої системи. Ця єдність структур систем, що розрізняються

задачами і цілями, а також єдність перетворення інформації дає підставу говорити і про спільність концепцій і методів обробки даних в цих системах. Отже, на рівні системної структури ГІС і інших АС існує єдність принципів обробки даних для широкого кола прикладних задач, включаючи управління, організацію виробництва, проектування, зберігання і оновлення даних. Ця єдність є слідством інтеграції.

Системний підхід дозволяє побудувати схему ГІС у вигляді основних рівнів обробки інформації і проводити порівняльний аналіз як з іншими автоматизованими системами, так і серед геоінформаційних систем, призначених для розв'язання різних задач.

Розділ 2. ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ГІС

Геоінформаційні технології існують вже близько 60 років. Чи багато це чи мало для подібного високотехнологічного напрямку? Чому геоінформатика і геоінформаційні технології є одним з напрямків серед інформаційних технологій, що найбільш бурхливо розвиваються? І взагалі, що це – наука, технологія, метод, комп'ютерна програма ?

2.1. Вступ до геоінформаційних технологій

Людина, абсолютно незнайома з географічними інформаційними системами, може поставити питання: “а навіщо мені потрібно знати, що таке геоінформатика ?” Дійсно, в житті більшості з нас далеко не щодня виникає необхідність звертатися до географічних атласів або карт. Але якщо розібратися, то геоінформаційні технології представляють собою дещо більше, ніж просто карту, поміщену в комп'ютер. В той же час, поняття “ГІС” нерозривно пов'язано із звичною друкарською картою. По суті будь-яка географічна карта є моделлю земної поверхні і є об'єктом аналізу її користувачами. Фахівцю вистачить побіжного погляду на географічне розташування яких-небудь об'єктів або явищ на карті для оцінки закономірностей їх виникнення і зв'язку з іншими параметрами.

Найпростіший приклад – це визначення відстані від одного пункту до іншого на карті, рис.1.3. Складнішою задачею є визначення площ об'єктів неправильної форми. В найскладніших задачах встановлюють залежності між різними тематичними даними карт, наприклад, залежність популяції дикого кабана або зайців від рельєфу місцевості, або складу ґрунтів від геології корінних порід. Список прикладів можна збільшувати. Людина в науковій, виробничій і управлінській діяльності постійно стикається з необхідністю обробки великих масивів інформації, які пов'язані з просторовим місцеположенням різних об'єктів, що описують трансформацію їх властивостей і характеристик залежно від часу. У результаті одержують візуальне відображення, а весь процес візуалізації – є процес створення карти.

Геоінформаційні системи, функції яких включають аналіз інформації і візуалізацію у вигляді карт і схем, виникли на стику технологій обробки інформації, що використалися в системах управління базами даних, і візуалізації графічних даних в системах автоматизованого проектування і машинної графіки (САПР), автоматизованого виробництва карт, системах управління мережами. Необхідність використання комп'ютерних потужностей для обробки географічної інформації була усвідомлена ще в 60–70-их рр. ХХ ст. Тоді реалізація ідеї вимагала величезних програмно-апаратних ресурсів і була під силу лише дуже крупним замовникам, таким, як, наприклад, державне відомство в особі міністерства оборони (про це ми говоритимемо в розділі 4). Ситуація корінним чином помінялася з середини 90-х рр., оскільки в цей час на ринку з'являються могутні, відносно дешеві ПК, дешевшає і стає більш зрозумілим програмне забезпечення, користувачі стають більш підготовленими. Ці чинники послужили відправною точкою для інтенсивного розповсюдження геоінформаційних технологій.

Більшість задач для ГІС можна розв'язати просто, без комп'ютерного аналізу або моделювання. Проте друкувати текст можна і на друкарській машинці, а ми зараз вважаємо за краще використовувати комп'ютер. Це дуже зручно, швидко, ефективно. Як правило людина підходить до ГІС непомітно для себе. Все починається з використання поширених графічних редакторів, таких як Photoshop, CorelDraw, Illustrator. В процесі роботи стає

ясно, що на нашу схему або тематичний шар потрібно розмістити додаткові дані з інших джерел (як накласти зображення на контурну карту). Для таких операцій потрібен єдиний координатний простір. Це є першим кроком до використання певних систем координат і картографічних проекцій (докладніше у розділі 3). На наступному етапі виникає необхідність складати і робити запити за атрибутивною інформацією. Найпростіші запити можна робити в графічних редакторах, наприклад, знайти всі поліноми площею більш ніж 50 км². Але часто існує потреба в складніших запитах, таких, як виділити усі офісні багатоповерхові будівлі, побудовані із бетонних блоків, або знайти потрібну вулицю на карті. Як тільки ви почали формувати подібного роду задачі, ви стаєте потенційним користувачем ГІС.

З одного боку, вживання ГІС для обробки і аналізу просторової інформації в різних областях життєдіяльності сприяє виникненню міждисциплінарних понять і методів. З другого боку, розвиток самої геоінформатики приводить до організації внутрішніх (власних) вимог до об'єктів вивчення, а це, в свою чергу, приводить до певних обмежень методів, що використовуються в конкретних дисциплінах (будівництві, геології, транспорті і т.д.). Така ситуація створює атмосферу живого спілкування людей, які займаються різною діяльністю (іноді дуже різною), але з'єднаних геоінформаційним підходом до роботи або досліджень.

2.2. Загальні принципи побудови моделей даних

ГІС використовує різноманітні дані про об'єкти, характеристики земної поверхні, інформацію про форми і зв'язки між об'єктами, різні описові відомості.

Для того, щоб повністю відобразити геоінформаційні об'єкти реального світу і всі їх властивості, знадобилася б нескінченно велика база даних (БД). Тому, використовуючи прийоми генерації і абстракції, необхідно звести множину даних до кінцевого об'єму, який піддається легкому аналізу і управлінню. Це досягається використанням моделей, які зберігають основні властивості об'єктів дослідження і не містять другорядних властивостей. Тому першим етапом розробки ГІС або технології її використання є

обґрунтування вибору моделей даних для створення інформаційної основи ГІС.

У існуючих ГІС використовуються різні способи організації реальності за допомогою моделей даних. Кожна модель більш придатна для певних типів даних і областей використання, тому при необхідності розв'язання великого числа задач слід використовувати сукупність різних моделей.

Моделі геооб'єктів, які використовуються в ГІС, чисельні і різноманітні, що обумовлюється різноманітністю даних і задач, які розв'язуються за допомогою ГІС.

У процесі функціонування ГІС вся сукупність вхідних даних - інформація про об'єкти, їх характеристики, формах зв'язку між об'єктами, різні описові відомості - перетворюється в єдину загальну модель (набір моделей), яка зберігається в БД. В сукупності ці дані утворюють різноманітні моделі об'єктів, які задають інформаційну основу БД і визначають методи обміну даними в процесі експлуатації ГІС.

Інтегрована інформаційна основа БД не є просто сумою інформаційних моделей частин об'єкту. Вона, як правило, має менший об'єм фізичної пам'яті при збереженні інформаційної місткості в порівнянні з інформаційними моделями, її складовими, хоча включає дані про зв'язки і додаткову службову інформацію.

Цілісність, несуперечність і оптимальність цієї загальної моделі ГІС обумовлюється обґрунтованим вибором складових частин моделі.

Моделі об'єктів (МО) ГІС, які зберігаються в БД, складаються з більш простих частин, які прийнято називати **моделями даних** (МД) (рис.2.1).

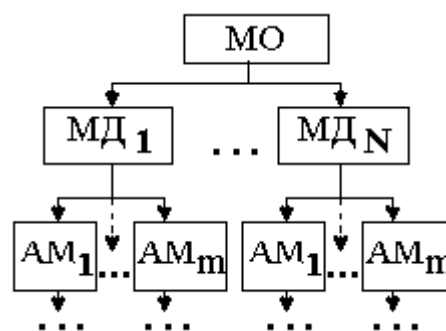


Рис.2.1. Структура моделі об'єкту

У свою чергу, моделі даних в ГІС мають складну багаторівневу структуру, в якій нижні рівні складаються з елементарних (**атомарних**) моделей даних (АМ). З елементарних моделей конструюються складніші. Конструювання, або проектування складних моделей, на основі більш простих залежить від вибору структури складної моделі, від типу зв'язків в складній моделі і від якісних характеристик елементарних моделей.

Проблема організації БД в ГІС зводиться до розв'язання ряду задач, першою з яких є організація моделей об'єктів. Це визначає необхідність попереднього аналізу властивостей елементарних моделей даних, що становлять складніші моделі в БД, і вибору базових теоретичних моделей з урахуванням конкретної предметної області задач ГІС. Такий підхід дозволяє оптимізувати створення інформаційної основи і процеси обробки даних в БД.

Оптимізація інформаційної основи і функціонування ГІС починається з аналізу базових моделей даних, для визначення структури зв'язків в моделях при створенні складніших моделей для опису реальних об'єктів.

2.2.1. Основні поняття моделей даних

Питання і термінологію моделювання даних недостатньо широко освітлено в технічній літературі. Тому необхідно дати основні поняття, які використовуються при побудові і описі моделей даних.

Як правило, реальна ГІС використовується для розв'язання заданого кола задач в конкретній області вживання.

Предметною областю називається підмножина (частина реального світу), на якій визначається набір даних і методів маніпулювання ними для розв'язання конкретних задач або проведення досліджень.

Розглянемо інформаційні одиниці, які складають основу організації моделей і структур даних:

➡ **знак** - елементарна одиниця інформації, яка є реалізацією властивостей об'єкту в заздалегідь заданій структурно організованій знаковій системі.

Приклади знаків :

➤ У знаковій системі цілих чисел знаками будуть цілі числа типу 1, 2, 10, 100 і т.д. Але в цій системі знаком не будуть дробові числа, наприклад 0.3, 0.15.

➤ У знаковій системі дійсних чисел у якості знаків виступатимуть числа типу 0.1, 1, 1.2, 6.234 і т.д.

➤ У системі українського (російського) алфавіту знаками будуть букви а, б, Щ та інші.

➤ У системі латинського алфавіту знаками будуть латинські букви X, Y, z та ін., але не українські літери(П, Б та інші);

➤ **тип** - сукупність моделей або об'єктів, з'єднана загальним набором ознак, або клас подібних знаків.

Уведеному раніше прикладі:

➤ для першої знакової системи тип **"цілий"**

➤ для другої знакової системи - тип **"дійсний"**

➤ для третьої і четвертої знакових систем – тип **"символьний"** або **"текстовий"**.

Поняття типу даних широко використовується в програмуванні при описі даних. Це поняття є окремим випадком поняття "типу" в цілому. Залежно від вибору ознак може мінятися організація типів даних, тобто розбиття на типи. Для виділення типів застосовують методи (процедури) типізації;

➤ **типізація** - об'єднання даних за набором заданих ознак або виділення із множини даних тих, які задовольняють заданим критеріям (або ознакам).

Знак можна розглядати як *реалізацію типу*, а **тип** - як *узагальнення сукупності знаків*. Через те, **знак представляє індивідуальні властивості моделі**, а **тип** - *її загальні властивості*;

➤ **сутність** - елемент моделі (сукупність атрибутів і знаків), що описує закінчений об'єкт або поняття;

➤ **атрибут** - елементарне дане, що описує властивості сутності;

➤ **атрибут даних** - властивість даних;

➤ **запис даних** - формалізоване представлення складної інформаційної моделі без опису її структури. Запис може бути логічною і фізичною;

➤ **запис логічний** - інформаційна одиниця, що відповідає одному кроку обробки інформації;

➤ **запис фізичний** - порція інформації, яка є одиницею обміну даними між внутрішньою і зовнішньою пам'яттю ЕОМ;

➤ **дatalogічна модель ГІС** - модель логічного рівня опису геоінформаційної системи, що складається з логічних записів і відображення зв'язків між ними безвідносно до виду реалізації. Опис дatalogічної моделі називають *схемою*;

➤ **дatalogічне проектування** - етап створення дatalogічної моделі;

➤ **фізична модель ГІС (БД)** - модель середовища зберігання даних фізичного рівня. Будується з урахуванням реальних СУБД і на їх основі, може розглядатися як реалізація дatalogічної моделі.

Для побудови моделі об'єкту у вигляді складових частин і визначення зв'язків між ними застосовують методи (процедури) **абстракції**, які теж утворюють цілий набір понять:

➤ **абстракція** - процедура структуризації (типізації) даних. Розрізняють два види абстракції: *узагальнення* і *агрегації*;

➤ **узагальнення** також підрозділяється на дві категорії: *власне узагальнення* і *класифікація* ;

➤ **власне узагальнення** - процедура співвідношення множини типів одному типу, співвідноситься з поняттям: "є частиною...";

➤ **класифікація** - процедура співвідношення множини знаків одному типу.

➤ **екземпляція** - процедура (зворотна класифікації) породження реалізації на основі відомої класифікації;

➤ **спеціалізація** - процедура (зворотна узагальненню) породження типів на основі загального класу типів;

➤ **агрегація** - процедура конструювання об'єкту з інших базових об'єктів; співвідноситься із поняттям "є деякі...";

➤ **інтенсивна** - агрегація на рівні властивостей типів;

➤ **екстенсивна** - агрегація на рівні властивостей знаків.

Наприклад, загальна схема взаємозв'язку даних, виражених типами (загальними поняттями), в будь-якій базі даних є інтенсіонал, а схема взаємозв'язку даних, виражених конкретним набором значень (набором знаків), - екстенсіонал.

Під *агрегативними даними* розумітимемо набір даних для формування об'єкту із його частин на основі процедур агрегації.

Процедура, зворотна агрегації, називається *покроковою деталізацією*. Вона застосовується для розбиття агрегативної моделі на складові частини.

На рис. 2.2 приведена схема проектування (структуризації) даних із застосуванням прямих і зворотних процедур абстракції.

Для пояснення відмінностей між узагальненням і агрегацією розглянемо модель одного і того ж об'єкту "Транспорт", але побудовану на основі різних підходів із застосуванням **методів узагальнення** (рис.2.3) і **агрегації** (рис.2.4).

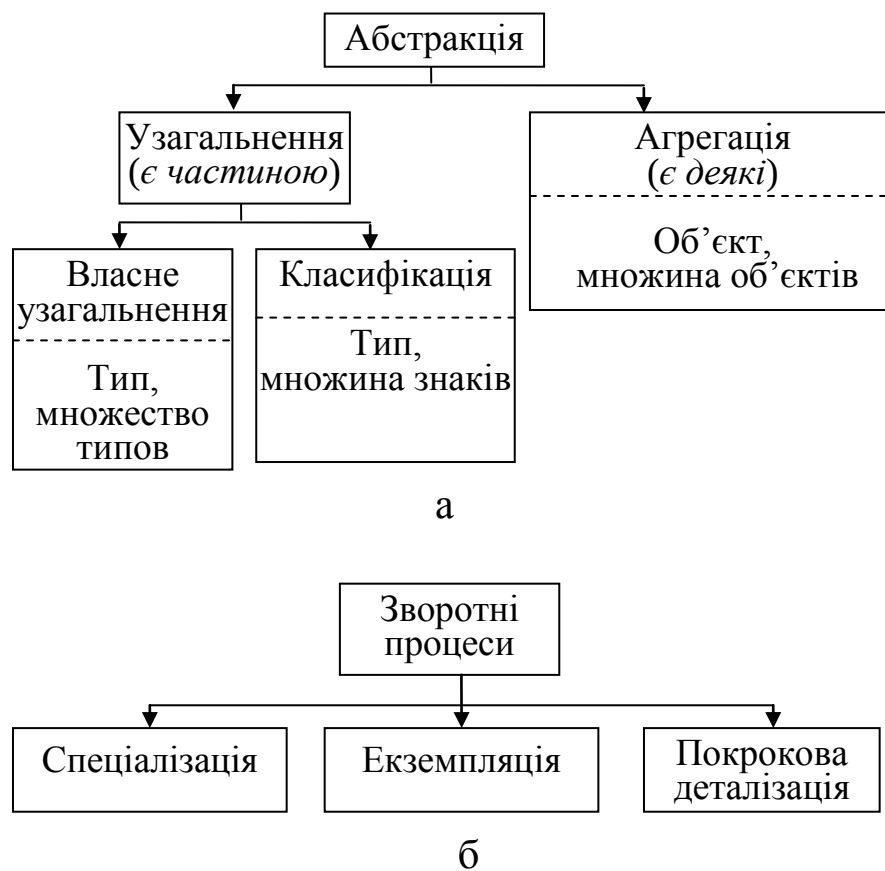
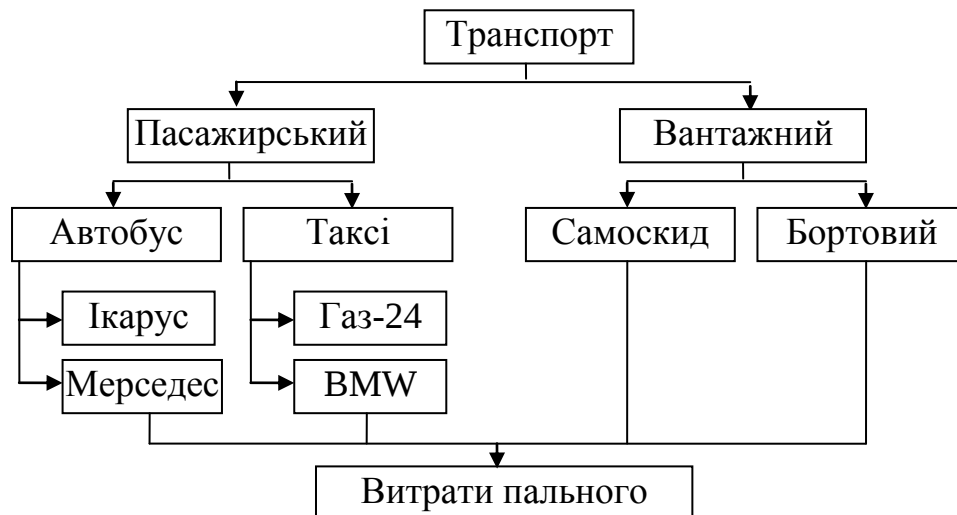


Рис.2.2. Схема структуризації даних із застосуванням процедур абстракції:
а – прямі процедури; б – зворотні процедури

Кожна структурно визначена модель дозволяє створювати логічну запис. На рис. 2.3 і 2.4 відповідно приведені логічні записи, побудовані для моделей, спроектованих з використанням агрегації. Записи розрізняються не тільки за виглядом, але і контекстно,

оскільки в одному випадку (див. рис. 2.3 б) параметри (атрибути) запису підкреслюють відношення повного об'єкту (запису) до інших груп об'єктів, а в іншому (див. рис. 2.4 б) - є атомарними об'єктами. Іншими словами, модель, побудована на основі узагальнень, відображає властивості по відношенню до інших класів моделей або об'єктів.

Модель, побудована на основі агрегації, може являти собою розкладання складного об'єкту на більш прості аж до атомарних.



а

Логічний запис на основі процедур узагальнення

Транспорт	Призначення	Тип	Назва	Витрати пального
-----------	-------------	-----	-------	------------------

б

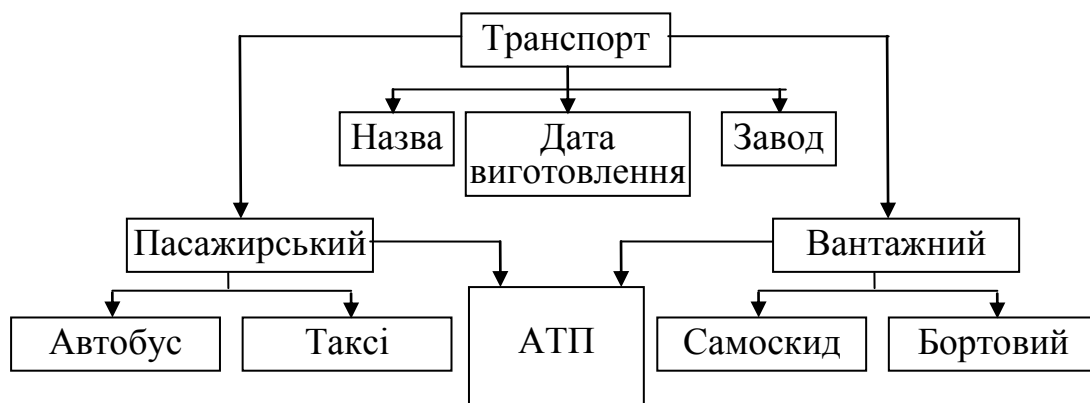
Рис.2.3. Побудова моделі на основі процедур узагальнення

2.2.2. Класифікаційні задачі

При створенні інформаційної основи і аналізі даних використовуються методи класифікаційного аналізу. Оскільки при зборі інформації для БД доводиться мати справу з результатами вимірювань, перші три типи задач класифікації визначимо за цим показником. Скористаємося визначенням, даним **Кендаллом** [15].

До задач класифікації *першого типу* відносяться ті, в яких початкові вимірювання вимагається розділити на стійкі групи. Їх називають *задачами класифікації без вчителя, кластеризації*,

таксономії, типізації. Цей тип класифікації заснований переважно на дослідних даних.



а

Логічний запис на основі процедур агрегації

Транспорт	Назва	Дата виготовл	Завод	Призначення	Автобус	Таксі	Самоскід	Бортовий
-----------	-------	---------------	-------	-------------	---------	-------	----------	----------

б

Рис.2.4. Побудова моделі на основі процедур агрегації

Задачі класифікації **другого типу** характеризуються тим, що початкові дані вже згруповані і вимагається оцінити їх *інформативність* (значущість) щодо сукупності відомих еталонів. Такого роду задачі зустрічаються при розпізнаванні образів, дешифрації знімків, тощо.

Задачі класифікації **третього типу** - задачі *розбиття*. В них початкові вимірювання або їх функції вимагається розбити на стійкі групи залежно від їх величини.

Задачі класифікації **четвертого типу** називають *процедурними*. В них виконуються аналіз і класифікація процедур перетворення, а не даних.

Задачі класифікації **п'ятого типу** - *структурно-аналітичні*. За їх допомогою проводяться аналіз і класифікація аналітично - логічних зв'язків в системах, алгоритмах і програмах. Основу такої класифікації складають методи структурного і системного аналізу.

В ГІС задачі класифікації *першого типу* виникають і розв'язуються при розробці класифікаторів, тобто при організації інформаційної основи, задачі *другого типу* - при зборі первинних

даних і при використанні ГІС для експертних рішень або оцінок. Задачі класифікації *третього типу* виникають в доповненнях ГІС для розв'язання проблем в області екології, землекористування, статистики і т.д. Задачі *четвертого типу* класифікації вимагають розв'язання при організації і виборі основних технологічних процесів ГІС. Задачі *п'ятого типу* - при організації інформаційної системи, представлення (формалізації) і оптимізації її технологічних процесів. Строго кажучи, класифікаційні задачі п'ятого типу повинні передувати класифікаційним задачам четвертого і інших типів.

2.2.3. Аспекти розгляду моделей даних

Модель, як правило, відображає найзагальніші властивості об'єкту або досліджуваного процесу. Використовування різних аспектів розгляду і критеріїв оцінки моделей даних дозволяє на основі об'єктивного порівняльного аналізу вибрати оптимальну модель для розв'язання виникаючих проблем.

Семіотика. Модель як знакова система повинна містити три основні характеристики: *синтаксис*; *семантику* і *прагматику*. Цей підхід визначає сутність елементарної (атомарної) моделі як елементарної одиниці даних, що включає правила побудови, ім'я об'єкту, властивості об'єкту, значення властивостей. Різноманітність атомарних моделей створює умови для побудови множини моделей даних

Типізація. Одна з суперечностей опису моделей полягає в прагненні відобразити, з одного боку, *загальні властивості класу об'єктів*, з іншого - *індивідуальні ознаки* більш вузького підкласу і індивідуальні ознаки конкретного об'єкту. Це обумовлює розділення моделей даних на два класи: *сильно типізовані* і *слабо типізовані*.

Сильно типізовані - це моделі, в яких більшість даних задовольняє певним умовам і обмеженням і можуть бути віднесені до вузького підкласу (типу). Якщо початкові дані не можна віднести до одного типу, то їх можна за допомогою штучних прийомів (введенням додаткових умов або обмежень) віднести до набору типів за допомогою процедур типізації. Сильно типізовані моделі ефективні при обробці однотипних потоків даних.

Прикладом сильно типізованих даних в ГІС служать координатні (метричні) дані і всі табличні дані.

Слабо типізовані - це моделі, в яких дані різномірні за форматом, структурою. Вони, загалом, слабо зв'язані умовами щодо відомих типів. Слабо типізовані моделі забезпечують інтеграцію категорій даних. Гранична можливість використання таких моделей забезпечується обчисленням предикатів. Прикладом слабо типізованих моделей в ГІС можуть бути описові характеристики (тимчасові набори даних).

Мінливість. Можна виділити два класи моделей: *статичні* і *динамічні*.

Статичні - моделі, інваріантні щодо часу.

Динамічні – моделі, в яких допускається не тільки зміна параметрів і структур в часі, але і призначені для опису зміни процесів і параметрів саме в часі.

Прикладами таких моделей в ГІС можуть служити два види електронних карт:

- електронні карти в режимі розділення часу (*електронні атласи*) - **статична модель**;
- електронні карти в реальному масштабі часу (*навігаційні системи*) - **динамічна модель**.

Слід підкреслити, що поняття *мінливості* моделей даних в ГІС *відносно*, оскільки вся інформація носить просторово-часовий характер і через деякий час вимагає оновлення. Тому, застосовуючи поняття *статичні* і *динамічні* моделі, необхідно указувати період часу, який використовується при аналізі геоінформаційних даних, або визначати альтернативну модель при порівнянні з початковою.

Будь-яка модель даних повинна різною мірою володіти двома цими властивостями. Динаміка моделей визначає їх можливий перехід одна в одну. Вона дозволяє пов'язувати модель з множиною правил породження і множиною операцій.

Агрегація (взаємозв'язок). Окремі частини моделі утворюють її структуру. Одним з основних способів структуризації даних є абстракція, що використовується як для утворення категорій даних, так і для побудови одних категорій на основі інших.

Представлення моделей. Виділяють *табличні* і *графові* форми представлення моделей.

Таблична форма дає представлення моделі або її характеристик у вигляді однієї або декількох взаємозв'язаних таблиць. При цьому, дані в комірках таблиці не можуть заноситися довільно, вони підкоряються певним правилам, зокрема, по стовпцях розташовують типізовані дані.

Прикладом табличного представлення моделі, окрім таблиці, може служити логічний запис (рис 2.3 б, 2.4 б) яка є верхнім рядком таблиці.

Графова форма заснована на побудові моделі у вигляді графічної схеми, званої *графом* (рис.2.5).

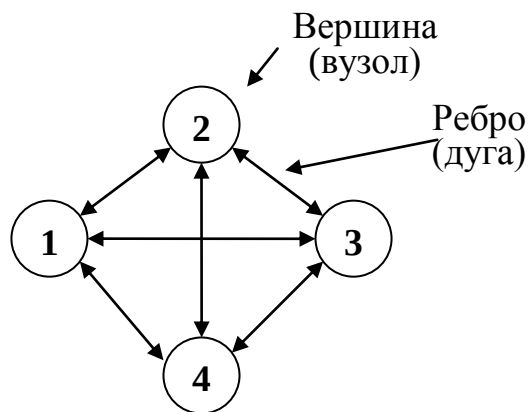


Рис.2.5. Графова форма моделі

Ця схема включає елементи графа, звані *вершинами (вузлами)* і *ребрами (дугами)*. На відміну від довільно намальованої схеми графова модель, як і таблична, будується за певними правилами. Зокрема, кожне ребро може бути *орієнтованим*, якщо визначений шлях від однієї вершини до іншої, і *не орієнтованим*, що відповідає можливому шляху від однієї вершини до іншої в обох напрямках. Найпростіший приклад орієнтованого графа - вектор в тривимірному просторі, а неорієнтованого графа - крива шляху з однієї точки в іншу. Окрім вершин і ребер існують інші елементи, значення яких для нас не так важливо.

Деякі фахівці в області моделювання даних замінюють терміни *вершина* і *ребро* термінами *вузол* і *дуга*. При аналізі графових форм представлення моделей даних в ГІС ці терміни слід вважати взаємно замінюваними.

Форма відображення об'єкту в модель. Цей аспект розгляду визначає *дискретну і аналогову моделі*. Прикладами таких моделей в ГІС можуть служити звична (аналогова) карта і цифрова карта.

Аналогові моделі, у свою чергу, розбиваються на дві групи: *прямої і непрямой аналогії*. Моделі прямої аналогії створюються на основі фізичного моделювання (аналогові карти, моделі автомобілів, літаків, гідротехнічні споруди, тощо), моделі непрямой аналогії - на основі математичного моделювання (аналітичного опису) наприклад, цифрова модель рельєфу, побудована на основі аналітичного опису поверхні.

Дискретні моделі будуються шляхом заміни безперервних функцій набором дискретних значень аргументів і функцій. Дискретність визначається *кроком квантування*. Для збереження інформативності дискретної моделі по відношенню до об'єкту крок квантування повинен вибиратися спеціальним чином (з урахуванням теореми Шенона – Котельникова). Прикладом дискретних моделей є більшість цифрових моделей, на основі яких згодом здійснюється аналогове представлення інформації ГІС.

2.3. Базові моделі даних

2.3.1. Інфологічна модель

Інфологічна модель займає особливе місце по відношенню до інших моделей. Вона дає форматизований опис предметної області незалежно від структур даних. Інфологічна область моделювання даних охоплює природні для людини концепції відображення реального світу.

Створення цієї моделі є першим кроком процесу формалізації. На відміну від представлення на природній мові вона в основному виключає неоднозначність за рахунок використання засобів формальної логіки.

Одне з основних понять інфологічної моделі – *об'єкт*. Це поняття пов'язано з подіями: *виникнення, зникнення і зміна*. Об'єкти можуть бути *атомарними і складовими*.

Атомарний об'єкт - це об'єкт певного типу, подальше розкладання якого на більш дрібні об'єкти усередині даного типу неможливе.

Складовий об'єкт включає множину об'єктів (кортежі об'єктів). Застосовуючи це визначення, рекурсивно можна одержати довільну структуру складових об'єктів.

Звичайно об'єкт має деяку *властивість* або *взаємозв'язок* (зв'язок) з іншими об'єктами. Властивість може не бути визначене формально, а лише охарактеризована як деяке твердження згідно множини об'єктів.

Інфологічна модель дозволяє виділити три категорії факторів: **істинні, значущі і помилкові**. З одного боку, це забезпечує моделі додаткову гнучкість, з іншого - створює певні складнощі.

Відмінності між традиційними і інфологічними моделями даних аналогічні відмінностям між сутністю і істиною. В багатьох моделях більшість повідомлень відноситься до однієї з двох категорій: істинні або помилкові. Інфологічна модель допускає можливість представлення будь-якого повідомлення з якоюсь частинкою достовірності, тобто у вигляді аналога думки. Аналіз такого повідомлення можливий при обліку конкретного контексту. В правильному контексті повідомлення істинне. Але і помилкове твердження може розглядатися як сутність.

Цілі інфологічного моделювання - формалізація об'єктів реального світу предметної області і методів обробки інформації відповідно до поставлених задач обробки і вимог представлення даних природними для людини способами збору і представлення інформації.

Інфологічні моделі дозволяють одержувати довільні представлення простих подій. На їх основі можуть бути сконструйовані також типи моделей, подібні підтримуваним сильно типізованим моделям. В таких моделях посилання на об'єкти і самі об'єкти розділені, а повідомлення інтерпретуються з урахуванням контексту. Це дозволяє реалізувати множинність посилань і забезпечити різноманітність інтерпретації.

Інфологічна модель може включати ряд компонентів (рис. 2.6). Принциповою особливістю даної моделі є можливість відображення як процесів і об'єктів, які формалізуються засобами формальної логіки, так і процесів, які надалі не формалізуються.

Основними компонентами інфологічної моделі є:

➔ опис предметної області;

- ➔ опис методів обробки;
- ➔ опис інформаційних потреб користувача.

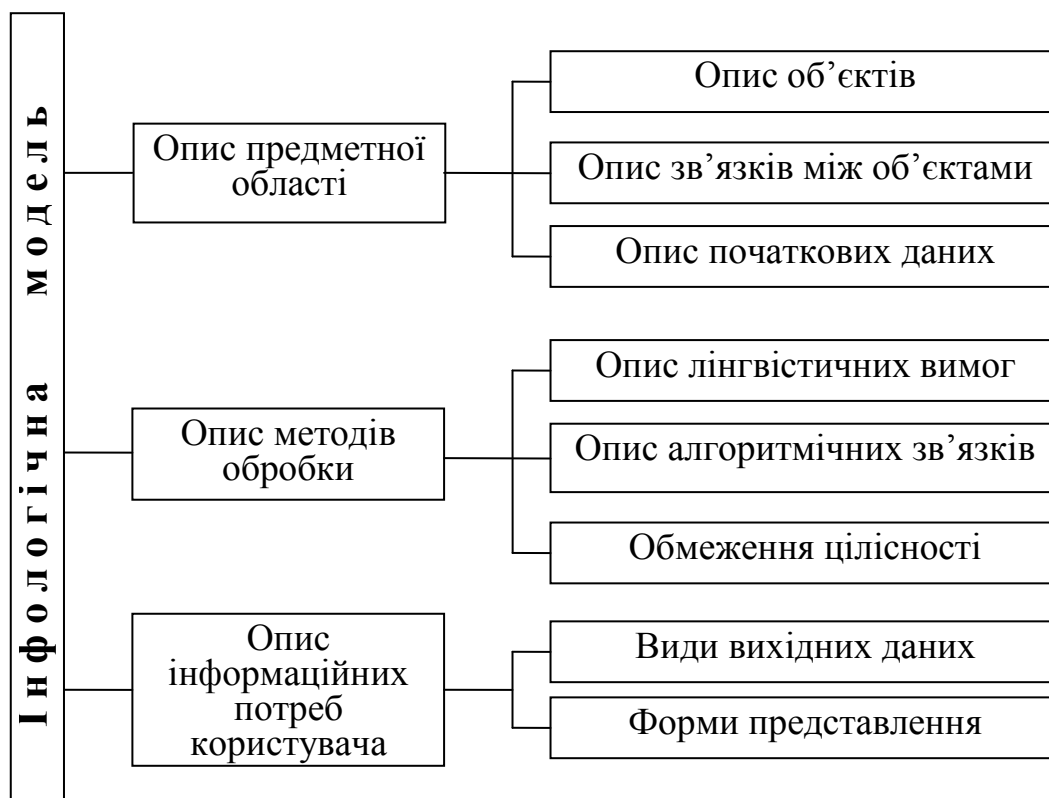


Рис.2.6. Основні компоненти інфологічної моделі

Інфологічна модель носить описовий характер. Через деяку довільність форм опису в даний час не існує загальноприйнятих способів її побудови. Використовують аналітичні методи, методи графічного опису, системний підхід.

2.3.2. Ієрархічна модель

До найпростіших *структурно визначених*, відноситься ієрархічна модель. В цій моделі даних зв'язки між її частинами є жорсткими, а її структурна діаграма повинна бути впорядкованим деревом.

Одне з важливих понять для цієї моделі - **рівень**. Для опису різних рівнів застосовують поняття: *корінь*, *стовбур*, *гілки*, *листя* і *ліс*, що підкреслює схожість структури моделі із структурою дерева.

Граф ієрархічної моделі (її схемне представлення) включає два типи елементів: *дуги* і *вузли* (або записи) (рис.2.7).

Дуги з'єднують різні вузли між собою. Дуги, відповідні функціональним зв'язкам, повинні бути завжди направлені від коріння в листя дерева, тобто вони є орієнтованим графом. Така структурна схема називається *ієрархічним деревом визначення* або *деревом визначення*.

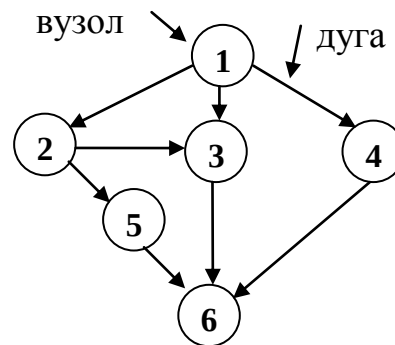


Рис.2.7. Приклад графа ієрархічної моделі

Дуга дерева визначення, відповідна функціональному типу зв'язку, називається зв'язком *відправний - породжений*. Між двома типами записів в ієрархічній моделі може бути не більше одного такого зв'язку. Дуга виходить із типу *батьківського* (що породжує) запису і заходить в тип *дочірнього* (породженого) запису.

У найпростішому випадку ієрархічна модель є описом процесу або системи, що складається із сукупності рівнів зв'язаних однією дугою (рис. 2.8).

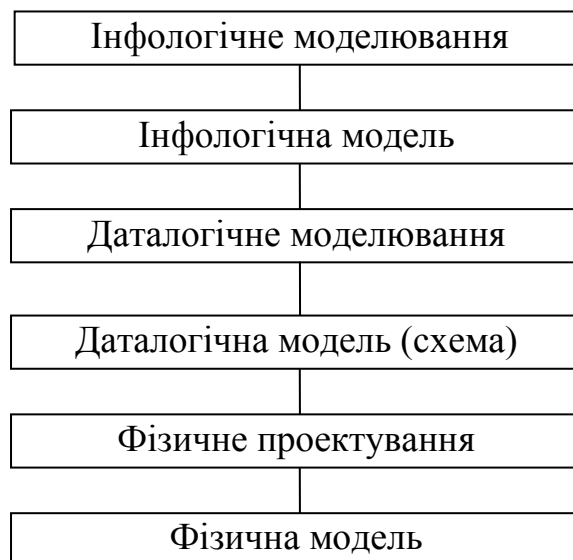


Рис.2.8. Ієрархічна модель проектування ГІС

Розглядаючи послідовність зв'язків "*відправний - породжений*", можна природним чином ідентифікувати типи батьківського і породженого записів.

Перший породжений запис називають **кореневим** (рідше стовбуром), проміжні записи - *гілками*, записи самого нижнього рівня ієрархічної моделі - *листя*.

Поняття **кореневий, стовбур, гілки, листя** визначає тип запису в ієрархічній моделі.

Ієрархічний шлях, або маршрутизація, - це послідовність типів записів, що починаються з типу кореневого запису, в якому типи записів виступають позмінно в ролях відправної і породженої.

Для графа (рис.2.7) приклади шляхів:

1. (1, 2, 5, 6);
2. (1, 2, 3, 6);
3. (1, 3, 6);
4. (1, 4, 6).

Відома програмістам послідовність "*диск - коренева папка - вкладена папка - файл*" - характерний приклад ієрархічної моделі (рис.2.9).

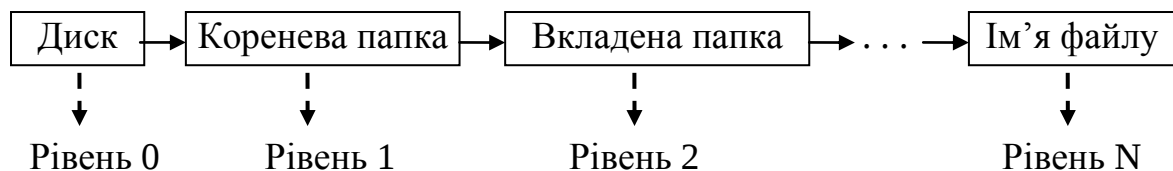


Рис.2.9. Приклад маршрутизації в ОС Windows

Рівень типу запису щодо типу кореневого запису визначається як довжина шляху від кореневого запису обчислена в кількості дуг. Так, тип кореневого запису "диск" знаходиться на нульовому рівні, "коренева папка" - на першому, "вкладена папка" - на другому, ім'я файлу - на останньому (N) рівні.

Альтернативним способом представлення розширення дерева визначення є "ліс", або сукупність окремих дерев, що виходять з одного кореневого запису і всіх її залежних записів. Таке дерево називається **деревом бази даних**. Воно конструюється відповідно до дерева визначення.

Іноді структуру ієрархічної моделі називають **Е-деревом** (рис.2.7).

Ієрархічним моделям даних властиві два внутрішні обмеження:

- *перше* - всі типи зв'язків повинні бути функціональними;
- *друге* - структура зв'язків повинна бути деревовидною.

Результатом цих обмежень є необхідність відповідної структуризації даних. Через функціональність зв'язків запис може мати не більше одного початкового запису будь-якого типу, тобто зв'язок повинен мати жорсткий вигляд - **1 : n** (*один до багатьох*).

Очевидний *недолік* ієрархічних моделей - зниження часу доступу при великому числі рівнів, тому в ГІС не використовують моделі при великому числі рівнів (більше 10). В той же час, ієрархічні моделі достатньо часто застосовуються для складання різного роду класифікаторів.

Ієрархічні моделі, як і інші, можуть описувати системи, дані і схеми процесів обробки даних. Проте слід підкреслити, що правильно складена ієрархічна схема повинна у якості записів (вершин) мати атрибути, або агрегати атрибутів, або типи сутності. Атрибути або агрегати атрибутів відповідають множинам або розширеним множинам. Дуги можуть використовуватися для представлення агрегації двох атрибутів в тип сутності або двох типів сутності в тип зв'язку. На практиці часто в запис вставляють не тільки сутності бази даних, але і зв'язки. Така схема описується моделлю "сутність-зв'язок".

Аналіз ієрархічних моделей (зв'язків між їх частинами) з "неправильним" описом необхідно проводити, виділяючи типи сутностей.

2.3.3. Квадратомічне дерево

Ієрархічна структура даних, відома як *квадратомічне дерево*, використовується для накопичення і зберігання географічної інформації. В цій структурі двовірна геометрична область рекурсивно підрозділяється на квадранти, що визначило назву даної моделі.

На рис. 2.10 показаний фрагмент двовірної області **G**, яка складається із **16 пікселів**. Кожний піксель позначений цифрою. Вся область розбивається на *чотири квадранти*: **A, B, C, D**. Кожний з чотирьох квадрантів є вузлом квадратомічного дерева. Великий квадрант **G** стає вузлом більш високого ієрархічного рівня

квадратомічного дерева, а менші квадранти з'являються на більш низьких рівнях.

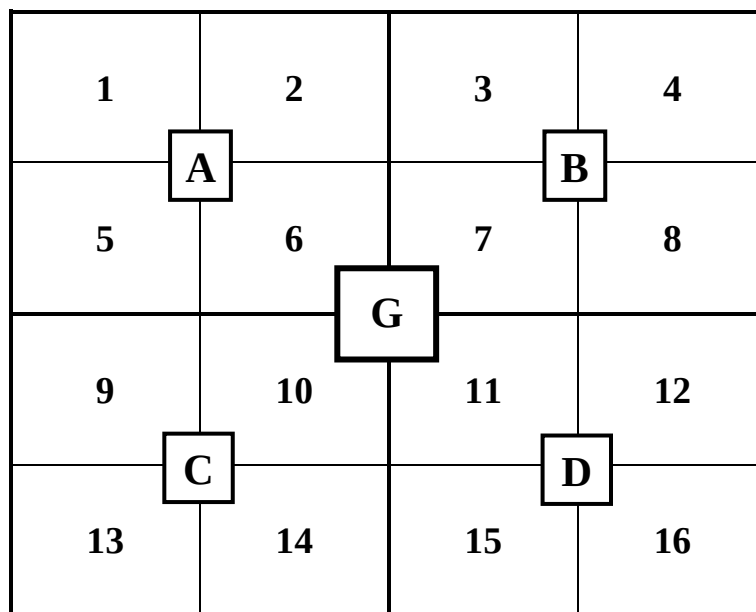


Рис.2.10. Фрагмент двомірної області G для побудови квадратомічного дерева

Технологія побудови квадратомічного дерева заснована на рекурсивному розподілі квадрата на квадранти і підквадранти до тих пір, поки всі підквадранти не стануть однорідними по відношенню до значення зображення (кольору) або поки не досягнутий заздалегідь заданий якнайменший рівень дозволу.

Якщо регіон складається із $2n \times 2n$ пікселів, то він повністю представлений на рівні n , а одиничні пікселі знаходяться на нульовому рівні. Квадрант рівня l ($0 < l < n$) містить $2^l \times 2^l$ пікселів, всього 4^l .

На рис. 2.11 показано квадратомічне дерево, побудоване за даними рис. 2.10. Як видно, ця структура є класичним прикладом Є-дерева. *П е р е в а г а* такої структури полягає в тому, що регулярний розподіл забезпечує накопичення, відновлення і обробку даних простим і ефективним способом. Простота виникає через геометричну регулярність розбиття, а ефективність досягається за рахунок зберігання тільки вузлів з даними, які представляють інтерес.

Оскільки квадратомічне дерево відоме як просторово-раціональний спосіб представлення згрупованих однорідних або

зв'язаних зображень, його перевага над векторною репрезентацією багатьох (але не всіх) просторових алгоритмів щодо витрат машинного часу вельми істотна.

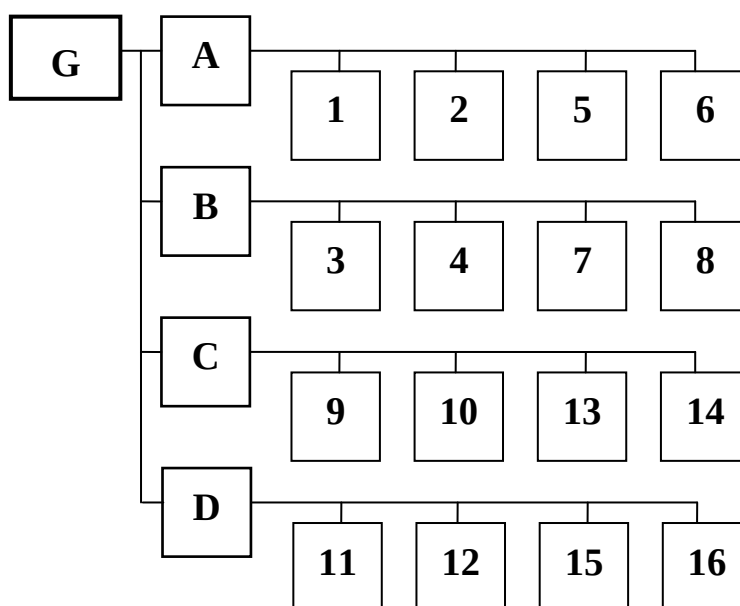


Рис.2.11. Квадратомічне дерево у вигляді C - структури

Моделі, засновані на квадратомічних деревах, забезпечують розрахунки площ, центроїдні визначення, розпізнавання образів, виявлення зв'язаних компонентів, визначення сусідства, визначення відстаней, розподіл зображень, згладжування даних і посилення краєвих ефектів. Внаслідок цього з'явилася можливість використовувати квадратомічні дерева для зберігання географічних даних. Проте при цьому потрібен подальший розвиток процедур для перетворення растрових даних у формат квадратомічного дерева і удосконалення техніки лінійного кодування.

Всі вузлові точки дерева, за винятком кореневої, мають одного батька. В той же час, всі вони, за винятком листя, пов'язані з чотирма дочірніми вузловими точками.

П е р е в а г а представлення, заснованого на покажчиках, полягає в тому, що воно виражає тільки значущу частину повного квадратомічного дерева.

2.3.4. Реляційна модель

У сучасних інформаційних системах і базах даних найбільш широко представлені реляційні моделі (РМ).

Реляційна модель даних розроблена **Коддом** в 1969-1970рр. на основі математичної теорії відношень і опирається на систему понять, найважливіші з яких - **таблиця, відношення, рядок, стовпець, первинний ключ, зовнішній ключ, домен (domain)**.

Доменом називається сукупність значень, які не повторюються в одному стовпці. Така модель покладена в основу так званих електронних таблиць - спеціалізованих баз даних.

Сутності, атрибути і зв'язки зберігаються в таблицях як дані певної структури. Структура даних обумовлюється моделями даних, які використовуються.

Таблиця складається із **рядків** і **стовпців** і має **ім'я** унікальне усередині бази даних. *Таблиця відображає тип об'єкту реального світу (сутність), а кожний її рядок - конкретний об'єкт.*

Основним засобом структуризації даних в реляційній моделі є **відношення (relation)**. Поняття відношення в реляційній моделі і математиці близькі, хоча і не співпадають. *Відношення можна визначити як декартовий добуток доменів.*

Пояснимо зв'язок перерахованих вище понять між собою.

Таблиця має стовпці і рядки (записи). Кожний запис має набір атрибутів. Записи кожного типу утворюють таблицю або відношення. *Кожний рядок - це запис або кортеж. Кожний стовпець - це атрибут.* Діапазон допустимих значень (домен) визначається для кожного атрибуту. Ступінь відношення - число атрибутів в таблиці: один атрибут - унарне відношення; два атрибути - бінарне відношення, n атрибутів - n-арне відношення.

Ключ відношення - це підмножина атрибутів, що має наступні властивості:

- унікальну ідентифікацію;
- ненадмірність;
- жоден з атрибутів ключа не можна видалити, не порушивши його унікальності.

Первинний атрибут відношення - це атрибут, присутній, принаймні, в одному ключі, всі інші атрибути не первинні.

У реляційній моделі даних схема відношення може бути використана для представлення типу сутності. Реляційна модель є табличною моделлю, деякі типи зв'язків між відношеннями можуть представлятися в схемі неявно. В цих моделях не передбачається

підтримка логічної впорядкованості, проте кортежі поміщаються у фізичну пам'ять згідно деякого порядку. Фізична впорядкованість використовується для вибірки.

Розглянута вище ієрархічна модель даних може бути зведена до реляційної за допомогою "нормалізації" - покрокового процесу приведення до табличної форми з повним збереженням інформації.

Розглянемо приклад реляційної моделі.

Табл. 2.1 "Співробітник" містить відомості про співробітників, які працюють в організації, а її рядки є наборами значень атрибутів. Кожний стовпець таблиці - це сукупність значень конкретного атрибуту об'єкту. Наприклад, стовпець "Спеціальність" містить множину значень спеціальностей, стовпець "Стаж" - цілі позитивні числа, які характеризують стаж роботи співробітника.

Таблиця 2.1

Співробітник				
Код	Прізвище, ім'я, по батькові	Спеціальність	Стаж	Найменування відділу
137	Петренко Т. П.	Механік	15	Транспортний
139	Івченко А. М.	Водій	9	Транспортний
143	Литвин Р.В.	Водій	11	Транспортний
147	Рибак О.С.	Бухгалтер	20	Бухгалтерія
149	Слободян І.К.	Слюсар	6	Ремонтний

Значення в стовпці "Спеціальність" вибираються із множини назв усіх можливих спеціальностей даної організації. В ньому принципово неможлива поява значення, якого немає у відповідному домені, наприклад "155" або "автомобіль".

Таблиця 2.2

Відділ		
Найменування відділу	Код відділу	Чисельність
Транспортний	001	12
Ремонтний	011	8
Бухгалтерія	022	6

Кожний стовпець має ім'я, яке звичайно записується у верхній частині таблиці. Воно повинне бути унікальним в таблиці, проте різні таблиці можуть мати стовпці з однаковими іменами. Будь-яка

таблиця має один або декілька стовпців. Стовпці розташовані в таблиці відповідно до порядку слідування їх імен при її створенні. На відміну від стовпців рядки не мають імен, порядок їх слідування в таблиці не визначений, а кількість логічно не обмежена.

Оскільки рядки в таблиці не впорядковані, неможливо вибрати рядок за його позицією - серед них не існує "першого", "другого", "останнього". Будь-яка таблиця має один або декілька стовпців, значення в яких однозначно ідентифікують кожний її рядок. Такий стовпець (або комбінація стовпців) називається **первинним ключем** (primary key).

У таблиці "Співробітник" первинний ключ - це стовпець "код". В нашому прикладі кожний співробітник має єдиний номер (код), за яким з таблиці вибирається необхідна інформація. Отже, в даній таблиці первинний ключ - це стовпець "код". В ньому значення не можуть дублюватися - в таблиці "Співробітник" не повинно бути рядків, які мають одне і те ж значення в стовпці "код".

Взаємозв'язок таблиць - найважливіший елемент реляційної моделі даних. Він підтримується *зовнішніми ключами* (foreign key).

У даному прикладі, в якому база даних зберігає інформацію про співробітників (таблиця "Співробітник") і відділи (таблиця "Відділ") в деякій організації, первинний ключ таблиці "Відділ" - стовпець "Назва відділу". Стовпець "Чисельність" не може виконувати роль первинного ключа, оскільки в одній організації можуть існувати декілька відділів із однаковою чисельністю співробітників.

Будь-який співробітник працює в одному відділі, що повинно бути відображене в базі даних. Таблиця "Співробітник" містить стовпець "Назва відділу" і значення в цьому стовпці вибираються із стовпця "Назва відділу" таблиці "Відділ". Стовпець "Назва відділу" є зовнішнім ключем в таблиці "Співробітник".

Для обробки даних, розміщених в таблицях, потрібна додаткова інформація про дані, наприклад, описувачі таблиць стовпців і тому подібне. Таку інформацію називають звичайно **метаданими**. Метадані також представлені в табличній формі і зберігаються в словнику даних (data dictionary).

Окрім таблиць в ГІС можуть зберігатися і інші об'єкти, такі, як екранні форми, звіти (reports), представлення (views) і навіть

прикладні програми, які працюють із інформацією, розміщеною в реляційній моделі.

Дані реляційної моделі повинні бути однозначними і несуперечливими. В цьому випадку говорять, що реляційна модель задовольняє умові цілісності (integrity). При цьому, на реляційну модель накладаються деякі обмеження, які називають обмеженнями цілісності (data integrity constraints).

Існує декілька типів обмежень цілісності. Наприклад, вимагається, щоб значення в стовпці таблиці вибиралися тільки з відповідного домена. На практиці враховують і складніші обмеження цілісності, зокрема, цілісність за посиланнями (reference integrity). Її суть полягає в тому, що зовнішній ключ не може бути покажчиком на неіснуючий рядок в таблиці.

Таким чином:

1. Для ефективної роботи ГІС необхідний обґрунтований вибір базових моделей даних і створення інтегрованої інформаційної основи.

2. Вибір моделей даних здійснюється при аналізі області вживання ГІС.

3. Організація моделей даних ГІС для управління дозволяє розв'язувати задачі, які раніше входили в сферу діяльності АСУ.

4. ГІС є системою більш широкого вживання в порівнянні з АСУ. Вона використовується в областях, де вони раніше не застосовувалися, - це військова справа, навігація, екологічний моніторинг, розвідка підземних копалин, аналіз мереж, тощо.

2.4. Особливості організації даних в ГІС

2.4.1. Загальна модель геоінформаційних даних

ГІС, як системи обробки просторово-часової інформації, відносяться до класу інформаційних систем. Вони мають загальні, властиві всьому класу, і індивідуальні, властиві тільки ГІС, властивості. *До особливостей ГІС можна віднести наявність великих об'ємів інформації, що зберігається.* Крім того, вони відрізняються специфічністю організації і структуризації моделей даних.

ГІС характеризуються різноманітністю графічних даних із специфічними їх елементами і зв'язками. Зокрема, карта може бути розглянута як двомірна аналогова модель, що відображає тривимірну поверхню.

Використовуючи процедури абстракції, визначимо більш загальну модель геоінформаційних даних як абстракцію даних, що розміщаються на земній поверхні. Такий підхід вимагає виділення, основних типів даних і їх численних зв'язків.

Нагадаємо, що однією з основних в перших моделях ГІС був набір імен і характеристик, в поєднанні із множиною іменованих даних, місцезнаходження яких задається координатами. Ця проста модель не містила яких-небудь семантичних даних, які допомагають користувачу при роботі з базами даних. Подальші дослідження привели до необхідності розвитку і ускладнення такої моделі. Іншими словами, виникла потреба створення загальної моделі даних ГІС і її основних частин для оптимальної обробки в базах даних і ефективного опису об'єктів.

Дані реального світу, що відображаються в ГІС, можна розглядати з урахуванням трьох аспектів: ***просторового, часового і тематичного.***

Просторовий аспект пов'язаний із визначенням місцеположення.

Часовий аспект - із змінами об'єкту або процесу в часі, зокрема від одного часового зрізу до іншого. Прикладом часових даних служать результати перепису населення.

Тематичний аспект обумовлений виділенням одних ознак об'єкту і виключенням з розгляду інших.

Всі вимірювані параметри моделей геоінформаційних даних підпадають під одну з цих характеристик: *місце, час, предмет*.

Важко вичерпним чином описати відразу всі ці три характеристики. Тому, *при побудові моделей даних на основі спостережень явищ реального світу один параметр вважають "незмінним", зміни іншого - "задаються" і при цьому "вимірюють" зміни третього параметра.*

Зафіксувавши географічне положення і змінюючи час, можна одержати часові ряди даних. Зафіксувавши час і змінюючи географічне положення - одержуємо дані за профілями.

У більшості технологій ГІС для визначення місцезнаходження об'єкту використовують один клас даних - **координати**, для визначення параметрів часу і тематичної спрямованості - інший клас даних - **атрибути**. Проте перш ніж розглянути два основні класи даних в ГІС, необхідно розглянути методи визначення місцезнаходження точок об'єктів на поверхні Землі.

2.4.2. Визначення місцезнаходження точок на поверхні Землі

Координатні дані, які складають один з основних класів геоінформаційних даних, використовуються для вказівки місцезнаходження об'єктів на земній поверхні.

Поверхня Землі має складну форму. При загальній площі її поверхні **510 млн. км² 71%** приходить на дно морів і океанів і **29%** - на сушу. Це дає підставу вважати, що земна поверхня складається з двох різко відмінних морфологічних елементів - **материків і океанів**.

З урахуванням того, що поверхня вод Світового океану займає майже **3/4** поверхні Землі **за загальну фігуру Землі приймають тіло, обмежене поверхнею води океанів**. Така поверхня називається вирівняною. Потенціал сили тяжіння на ній має одне і те ж значення. Іншими словами, ця поверхня скрізь перпендикулярна прямовисній лінії, тобто скрізь горизонтальна.

Можна побудувати сімейство горизонтальних поверхонь. Поверхня, яка співпадає з поверхнею Світового океану в стані спокою і рівноваги і продовжена під материками, утворює фігуру, прийняту в геодезії за загальну фігуру Землі, яку називають **геоїдом**.

За допомогою методів дистанційного зондування вдалося встановити, що **Земля має грушовидну форму**.

У якості математичної моделі Землі прийнятий еліпсоїд, який в геодезії називають **референс - еліпсоїдом**.

В СРСР до 1946 р., використовувався еліпсоїд, одержаний **Ф.Бесселем**. В 1946 р. для обов'язкового використання був

введений еліпсоїд, обчислений в ЦНДІГАІК в 1940 р. під керівництвом **Ф.Н.Красовського** за участю А.А. Ізотова.

Для відображення положення точок на поверхні (площини) використовують різні математичні моделі поверхні і різні системи координат. На практиці застосовують два основні типи координат: **плоскі** і **сферичні**. Рідше застосовують **криволінійні** або **полярні**.

Вибір системи координат залежить від розмірів досліджуваних ділянок поверхні, як наслідок, від впливу кривизни Землі.

При зображенні невеликих ділянок Землі частину вирівняної поверхні можна прийняти за площину. Такими ділянками будуть ділянки розміром **20×20 км** довжиною і площею до **400 км²**.

У цих випадках застосовуються **плоскі координати**.

➔ **Плоскі прямокутні (декартові) координати** визначаються завданням двох осей. При цьому, координата X указує на схід, а Y – на північ (рис.2.12).

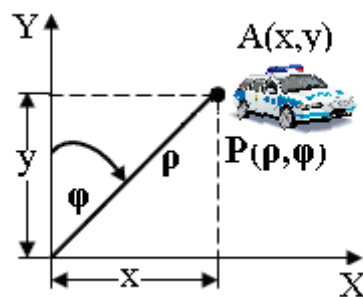


Рис.2.12. Системи координат:
прямокутна (x, y) і полярна (ρ, φ)

Впорядкована пара (X, Y) визначає місцезнаходження точки на земній поверхні в заданій системі координат – $A(x, y)$.

➔ **Плоскі полярні координати** використовують відстань від початку координат (ρ) і кут (φ) від фіксованого напрямку. Напрямок звичайно фіксується на північ, а кут відлічується за годинниковою стрілкою від нього. Полярні координати $P(\rho, \varphi)$ зручні при проведенні вимірювань від будь-якої заданої точки. Наприклад, коли використовуються дані таких джерел, як радарні зйомки (рис.2.12).

У таких системах координати зв'язані між собою співвідношеннями:

$$x = \rho \times \cos(\varphi), \quad y = \rho \times \sin(\varphi),$$

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \operatorname{tg}(\varphi) = \frac{y}{x} \quad \text{при } x \neq 0.$$

При необхідності врахування кривизни Землі застосовують **сферичні системи координат**. Для визначення, географічної системи координат (рис.2.13) (різновид сферичної системи координат) введемо наступні поняття:

площина земного екватора - проходить через центр Землі перпендикулярно осі обертання (*велике коло* - уявне коло на земній поверхні, утворений площиною, що проходить через центр земної кулі);

площина географічного (астрономічного) меридіана - проходить через вісь обертання Землі і прямовисну лінію в точці земної поверхні (*мале коло* – уявне коло на земній поверхні утворене площиною, що не проходить через центр земної кулі);

меридіан - лінія перетину площин географічних меридіанів із земною поверхнею - лінія постійної довготи;

паралель - лінія, утворена перетином площини, паралельної площині земного екватора з поверхнею Землі - лінія постійної широти.

Місцезнаходження точки визначається широтою (φ) і довготою (λ).

Широта - це кут між точкою і екватором уздовж меридіана¹. Вона змінюється від -90° (південний полюс) до $+90^\circ$ (північний полюс).

Довгота - це кут в площині екватора між меридіаном точки і головним (нульовим) меридіаном, що проходить через Грінвіч (Англія). Вона змінюється від -180° (західна довгота) до $+180^\circ$ (східна довгота).

Основними поняттями такої системи координат є:

- *меридіан* - лінія постійної довготи;
- *паралель* - лінія постійної широти;
- *велике коло* - уявне коло на земній поверхні, утворене площиною, що проходить через центр земної кулі;

¹ Таке визначення широти не годиться для еліпсоїда

- *мале коло* - уявне коло на земній поверхні, утворене площиною, що не проходить через центр земної кулі.

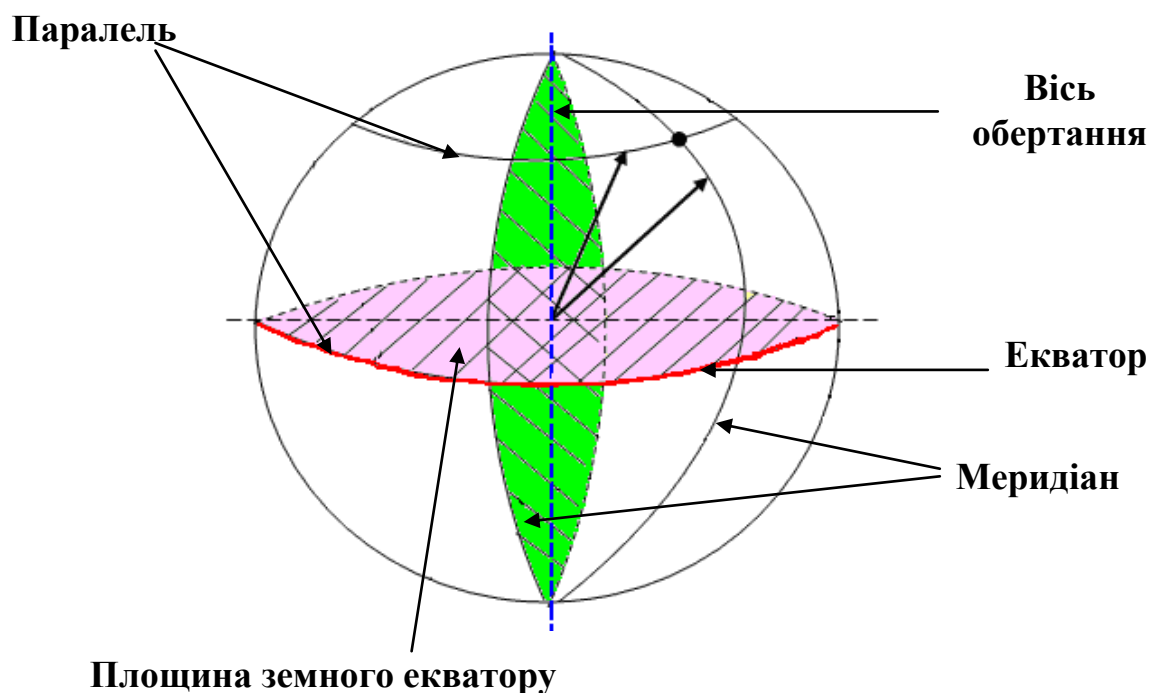


Рис.2.13. Географічна система координат

Розглянуті системи координат носять більшою мірою теоретичний характер. На практиці використовують більш широкий набір систем координат: *геоцентричні, топоцентричні, полярні, геодезичні, еліптичні* та інші.

2.4.3. Координатні дані, основні типи координатних моделей

Геометрична інформація, що міститься на карті, може бути визначена як сукупність наборів точок, ліній, контурів і площ, які мають метричні значення і відображають тривимірну реальність. Ця інформація утворює **клас координатних даних** ГІС, що є обов'язковою характеристикою геооб'єктів.

Будучи частиною (класом) загальної моделі даних в ГІС **координатні дані визначають клас координатних моделей**.

Основні типи координатних моделей

Клас координатних моделей можна розбити на типи. При цьому слід врахувати, що спроба включити в опис широкий набір груп приводить до ускладнення бази даних і процесів обробки. В

ГІС використовують менше число атомарних моделей в порівнянні з САПР.

У ГІС застосовують набір базових геометричних типів моделей із яких створюються всі інші, складніші. З урахуванням предметної області карт обмежуються лише описом таких типів (структур географічних даних), які відносяться до представлення топографії і до тематичного впорядкування.

В ГІС включають наступні основні типи координатних даних (рис. 2.14):



Рис. 2.14. Основні типи координатних даних

- **точка** (вузли, вершини);
- **лінія незамкнута**;
- **контур** (замкнута лінія);
- **полігон** (ареал, район) - групи замкнутих ділянок, які примикають один до одного.

У деяких системах в опис основних типів моделей включають поняття **просторова мережа**, яка є розвитком типу даних *район*. Контури і лінії часто об'єднують загальним терміном: - "**лінійні об'єкти**". Таким чином, в різних ГІС **число основних типів координатних моделей змінюється від трьох до п'яти**. Проводячи порівняння з технологіями САПР, відзначимо, що основні типи координатних даних є аналогами атомарних моделей в САПР, які називають **примітивами**.

Приведені вище поняття носять концептуальний характер. На практиці для побудови реальних об'єктів використовують більше число складних координатних моделей. В різних ГІС вони трохи відрізняються, тому розглянемо у якості прикладу набір даних в системі ГеоГраф (рис.2.15):

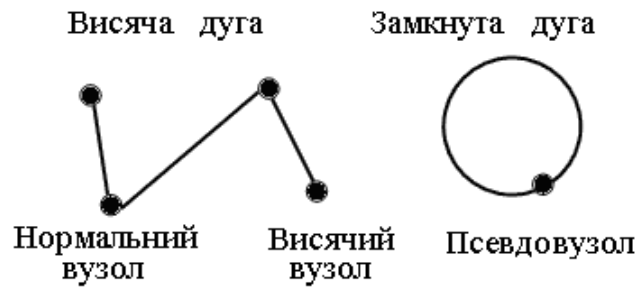


Рис.2.15. Основні елементи векторних даних

- **точка** - пара координат X, Y ;
- **відрізок** - лінія, що з'єднує дві точки;
- **вершина** (вертекс) - початкова або кінцева точка відрізка;
- **дуга** (лінія) - впорядкований набір зв'язних відрізків (або вершин);
- **вузол** - початкова або кінцева вершина дуги;
- **висячий вузол** - вузол, що належить тільки одній дузі, в якій початкова і кінцева вершини не співпадають;
- **псевдовузол** - вузол, що належить тільки двом дугам або одній замкнутій дузі, в якій початкова і кінцева вершини співпадають. Виключенням є вузол, який належить двом дугам, одна з яких самозамкнута в цьому вузлі, а інша примикає до неї (такий вузол є нормальним);
- **нормальний вузол** - вузол, що належить трьом (і більше) дугам. Нормальним також є вузол, що належить двом дугам, одна з яких самозамкнута в цьому вузлі, а інша примикає до неї;
- **висяча дуга** - дуга, що має висячий вузол;
- **замкнута дуга** - дуга, у якої співпадають початкова і кінцева вершини (у такої дуги є тільки один вузол);
- **полігон** - одинична область, обмежена (що знаходиться всередині) замкнутою дугою або впорядкованим набором зв'язних дуг, які утворюють замкнутий контур;
- **покриття** – набір файлів, що фіксують у вигляді цифрових записів просторові об'єкти (точки, дуги, полігони) і структуру відносин між ними;
- **порожнє покриття** - покриття, в якому відсутні просторові об'єкти;

- **шар** - покриття, що розглядається в контексті його змістовної визначеності (рослинність, рельєф, адміністративний розподіл, тощо) або його статусу в середовищі редактора (активний шар, пасивний шар);

- **внутрішній ідентифікатор просторового об'єкту** - ціле число, яке є службовим ідентифікатором системи (унікальне для кожного об'єкту даного покриття і яке призначається автоматично в процесі роботи редактора). Може змінюватися системою в процесі роботи;

- **призначений для користувача ідентифікатор (внутрішній ключ) просторового об'єкту** - ціле число, яке служить для зв'язку об'єктів цифрової карти з базою (таблицями) тематичних даних. Призначається і змінюється тільки користувачем.

Точкові об'єкти. Найпростіший тип просторового об'єкту, що задається точковими даними, до яких відносяться не тільки точки, але і всі точкові умовні знаки. Вибір об'єктів, які представляються у вигляді точок, залежить від масштабу карти або дослідження.

Наприклад, на великомасштабній карті точками показуються окремі будівлі, а на дрібномасштабній карті - міста.

Особливість точкових об'єктів полягає в тому, що вони зберігаються і у вигляді графічних файлів, як інші просторові об'єкти, і у вигляді таблиць, як атрибути. Останнє обумовлене тим, що координати кожної точки описують як два додаткові атрибути. Через це інформацію про набір точок можна представити у вигляді розгорненої таблиці або таблиці, що містить окрім координат набори атрибутів (ідентифікаційні номери, тематичні характеристики, тощо). В таких таблицях кожний рядок відповідає точці - в ній зібрана вся інформація про дану точку. Кожний стовпець - це ознака, що містить типізовані дані: координати або атрибути. Кожна точка не залежить від решти точок, представлених окремими рядками.

Лінійні об'єкти. Широко застосовуються для опису мереж, для яких, на відміну від точкових об'єктів, характерна наявність топологічних ознак.

Будь-яка мережа складається із вузлів (вершин) - з'єднань, кінців відособлених ліній і ланок (дуг) - ланцюгів в моделі бази даних.

Для кожного вузла існує спеціальна характеристика, яка називається **валентністю**, яка визначається кількістю ланок в ній. Кінці відособлених ліній одновалентні. Для вуличних мереж (перетини типу "хрест") найбільш характерні чотиривалентні вузли. Лінійні об'єкти, як і точкові, мають свої атрибути, причому різні для дуг (ланок) і вузлів.

Атрибутами для дуг є:

- напрям руху, інтенсивність руху, протяжність;
- кількість смуг, час в дорозі уздовж ланки;
- діаметр труби, напрям руху газу;
- напруга в ЛЕП, висота опор;
- кількість шляхів, ухил, ширина тунелю, вантажопідйомність, тощо.

Атрибутами для вузла є:

- наявність переходу, назви вулиць, які пересікаються;
- наявність автоматичного регулювання перехресть;
- тип (ручний або автоматичний) переклад стрілок;
- характеристики трансформаторів ЛЕП;
- потужність компресора.

Деякі атрибути (наприклад, назви вулиць, які пересікаються) служать для зв'язку одного типу об'єктів з іншими (вузли з ланками), інші характеризують тільки ділянки ланок мережі.

У багатьох ГІС для включення додаткових атрибутів в мережу необхідне розбиття існуючих ланок і створення нових вузлів. Наприклад, ланка вулиці, частина якої ремонтується розривається на місці початкової і кінцевої ділянки ремонту, його атрибути присвоюються новому (двовалентному) вузлу. Інший приклад, для відрізка дороги, що проходить через міст створюються нова ланка і два нові вузли. Такий підхід може привести до появи неприпустимо великої кількості ланок і двовалентних вузлів, тому він має обмеження, яке визначається ресурсами конкретної ГІС.

Мережі часто використовують як системи лінійної адресації. В цих випадках точки розміщують в мережі за даними про номер ланки і про відстань від її початку. Це більш зручно, ніж використовувати X, Y координати точки з таблиці, оскільки такі дані безпосередньо указують місцезнаходження точки в мережі.

Даний підхід визначає метод присвоєння атрибутів окремим ділянкам ланок. При цьому, лінійні об'єкти (будівлі, тунелі) зберігаються в окремих таблицях, а з мережею вони зв'язані шляхом вказівки номера ланки і відстані від його початку.

Для точкових об'єктів необхідно вказати одне значення координат, для лінійних - два (для початкової і кінцевої точок). Це дозволяє при необхідності розрахувати координати (X, Y) цих об'єктів і виключає необхідність дробити ланки і вводити двовалентні вузли.

Ареали. В даний час в ГІС можуть бути представлено декілька типів ареалів:

- зони, в доповненні до навколишнього середовища або природних ресурсів;
- соціально-економічні зони;
- дані про угіддя, тощо.

Для ареальних об'єктів межі можуть визначатися властивістю або явищем, а також незалежно від явища (потім перераховуються значення атрибутів). Крім того, межі можуть встановлюватися штучно, наприклад для мікрорайонів населених пунктів.

Взаємозв'язки між координатними моделями

У загальному випадку просторові дані можуть мати велику кількість різноманітних зв'язків. Ці зв'язки грають важливу роль для просторового аналізу даних.

Наприклад, зв'язок типу "*міститься в ...*" дозволяє співвідносити об'єкти з їх оточенням, зв'язок "*перетинає*" між двома лініями важлива для аналізу маршрутів в мережах.

Взаємозв'язки можуть існувати між об'єктами одного типу або різних типів.

Виходячи з критерію побудови моделей, можна виділити три основні типи взаємозв'язків між координатними об'єктами:

Перший тип - взаємозв'язки для побудови складних об'єктів з простих елементів. Наприклад, взаємозв'язки між дугою і впорядкованим набором визначальних її вершин, взаємозв'язки між полігоном і впорядкованим набором визначальних його ліній. При цьому використовують процедури агрегації і узагальнення.

Другий тип - взаємозв'язки, які можна обчислити за координатами об'єктів.

Наприклад, координати точки перетину двох ліній визначають взаємозв'язок типу "*схрещується*" і наявність чотиривалентного вузла. Табличні координати окремої точки і дані про межі полігонів дозволяють знайти полігон, що включає дану точку. Цим визначається взаємозв'язок типу "*міститься в ...*". Використовуючи дані про межі полігонів, можна з'ясувати, чи перекриваються полігони, і тим самим встановити взаємозв'язок типу "*перекриває*". Іншими словами, другий тип зв'язку міститься в атрибутивних даних в неявному вигляді.

Третій тип - "інтелектуальний". Ці взаємозв'язки не можна обчислити за координатами, вони повинні одержувати спеціальний опис і семантику при введенні даних.

Наприклад, можна обчислити перетин двох ліній, але, якщо цими лініями є автодороги, не можна сказати, перетинаються вони чи в цьому місці знаходиться розв'язка автодоріг. Отже, для розв'язання додаткових задач необхідна інформація про зв'язки. Облік зв'язків відбувається при кодуванні даних, тобто в підсистемах семантичного моделювання.

2.5. Особливості моделювання в ГІС

2.5.1. Основні види моделювання

У ГІС можна виділити чотири основні види моделювання [15] (рис.2.16): *семантичне, інваріантне, евристичне, інформаційне*.



Рис.2.16. Види моделювання

Семантичне моделювання взаємозв'язане із задачами кодування і лінгвістичного забезпечення. Чим більш різноманітна вхідна інформація за структурою і змістом, чим менш вона

уніфікована, тим більше об'єм семантичного моделювання застосовується в підсистемі збору.

У ГІС частка семантичного моделювання велика на рівні збору інформації, що обумовлене великим об'ємом і різноманітністю вхідної інформації, складністю її структури, можливою наявністю помилок.

Інваріантне моделювання засноване на роботі з повністю або частково уніфікованими інформаційними елементами або структурами. Цей вид моделювання допускає використання групових операцій, що підвищує продуктивність праці в порівнянні з індивідуальним моделюванням.

Інваріантність створює передумови для використання наборів програмно-технологічних засобів незалежно від конкретного виду (особливостей) модельованого об'єкту. Вона передбачає використання загальних властивостей модельованих об'єктів (властивостей типів або класів) незалежно від технічних засобів і специфічних характеристик окремих об'єктів.

Цей тип моделювання значно підвищує продуктивність обробки інформації, особливо при моделюванні (обробці) графічних об'єктів. Проте реалізація такого підходу можлива лише при використанні графічних баз даних, неграфічних баз даних з можливістю організації векторних файлів і за наявності наборів структурно розділених графічних моделей, нижній рівень яких інваріантний (безвідносний) до особливостей моделі, а верхній - відкритий для запису індивідуальних властивостей об'єкту моделювання. Іншими словами, таке моделювання вимагає спеціалізованого програмного і лінгвістичного забезпечення, що враховує властивості модельованих об'єктів і можливість їх структуризації на певні "графічні примітиви".

В ГІС цей підхід виражається у вигляді створення певної основи для графічного представлення інформації (карт) за рахунок використання спеціальних бібліотек, наприклад бібліотек умовних знаків і бібліотек графічних елементів.

Евристичне моделювання застосовується при необхідності експертних рішень, врахування індивідуальних властивостей об'єктів на відеозображеннях і при розв'язанні спеціальних

нетипових задач. В основному воно реалізується при інтерактивній обробці.

У технологіях ГІС і САПР евристичне моделювання здійснюється шляхом спілкування користувача з ЕОМ на основі сценарію, що враховує, з одного боку, технологічні особливості програмного забезпечення, з іншого - особливості і досвід обробки даної категорії об'єктів.

У ГІС відсоток евристичного моделювання багато вище, ніж в САПР. Це підвищує актуальність вживання експертних систем в ГІС.

Інформаційне моделювання пов'язане із створенням і перетворенням різних форм інформації, наприклад графічної або текстової у вигляд, що задається користувачем. Воно ефективне тільки при попередній розробці інтегрованої інформаційної основи і використуванні баз даних.

У сучасних інформаційних системах реалізація інформаційного моделювання комплексно здійснюється шляхом створення підсистеми забезпечення документації.

Локально проблема інформаційного моделювання розв'язується засобами програмного забезпечення, зокрема засобами СУБД. Сучасні СУБД додатково до можливостей зберігання і моделювання інформації надають різноманітні методи щодо створення звітів, довідок і інших документів.

Як правило, інформаційна ємність відеозображень велика, тобто надмірна, по відношенню до моделей, що зберігаються на машинних носіях. Інформаційна ємність фотознімків на два-три порядки перевищує інформаційну ємність існуючих магнітних носіїв. Вона поступається тільки оптичним, біотехнологічним і генетичним носіям інформації. Це обумовлює необхідність обов'язкового розв'язання задач стиснення інформації на рівні збору і первинної обробки інформації. З другого боку, це породжує необхідність створення так званих відео-баз даних.

Важливою характеристикою при створенні моделей для будь-якого класу об'єктів є **моделепридатність** яка включає дві групи показників (рис.2.17).



Рис.2.17. Показники моделепридатності

Перша група показників моделепридатності характеризує засоби опису об'єкту; **друга група** - визначається такими технічними даними засобів моделювання, як обчислювальні ресурси.

Аналіз моделепридатності об'єктів ГІС широкого класу показує їх складність для створення набору базових графічних елементів. Тому якнайкращим засобом опису таких об'єктів є комплексні моделі із метричних множин і множин семантико-описової інформації.

Як показує досвід, для ефективної інтерактивної обробки реалізація одного модельного експерименту не повинна перевищувати 1 години, а час одного сеансу роботи на комп'ютері повинен не перевищувати 4 годин.

Методи моделювання в ГІС і САПР мають достатньо схожих ознак. Проте за значенням різних задач на різних етапах обробки вони відрізняються.

У САПР задачі структуризації і компоновки вирішують на другому системному рівні (моделювання, зберігання і оновлення), а в ГІС - на першому (при зборі інформації). Причому, якщо в САПР ставляться задачі вибрати і скомпонувати комплексну модель, що проектується, то в системах ГІС - оптимально відобразити структуру первинної моделі.

Враховуючи схожість і відмінності між САПР і ГІС, наголошуючи на достатньо широкому класі задач проектування карт, необхідно виділити **проблему геоінформаційного проектування**. Вона полягає в отриманні оптимальних проектних рішень на основі використання наступних технологій:

- ефективних методів збору і первинної обробки відеоінформації і допоміжної інформації;
- створення уніфікованих інформаційних моделей, що дозволяють ефективно використовувати різні види моделювання;

- усунення нечіткості первинної відеоінформації і її стиснення для подальшого зберігання і обробки;
- геометричного моделювання для побудови широкого набору цифрових (площинних, лінійних, об'ємних, тощо) моделей проєктованих об'єктів;
- декомпозиції, уніфікації, синтезу для оптимальної обробки різних форм відеоінформації;
- автоматизованого представлення результатів обробки.

При зіставленні задач, що розв'язуються в ГІС, із загальними задачами, що розв'язуються типовими САПР, відзначимо, що перші містять в своєму складі загальні задачі, але із специфічними відмінностями. Зокрема, трудомісткі роботи в типових САПР для ГІС виглядають таким чином:

- заміна натурних випробувань математичним моделюванням, що використовує надмірну відеоінформацію;
- розв'язання задач компоновки при зборі інформації, а не в діалоговому процесі основної обробки;
- автоматизація синтезу розв'язання проєктних процедур на основі комплексного використання різних видів інформації;
- формування і випуск проєктної документації на основі автоматизованих систем забезпечення документації;
- зменшення нечіткості інформації і підвищення контролепридатності моделей за рахунок використання більш точних автоматизованих фотограмметричних приладів;
- проведення надмірних вимірювань за рахунок використання аналітичних фотограмметричних приладів або скануючих пристроїв.

2.5.2. Технологічні основи моделювання в ГІС

З сучасних позицій ГІС є інтегрованою інформаційною системою, що визначає комплексний підхід до обробки інформації, зокрема до методів моделювання.

Комплексність включає процеси автоматизації збору, обробки, моделювання, уніфікованого представлення і документаційного забезпечення інформації.

Концепції моделювання в ГІС базуються на інтеграції, яка передбачає, з одного боку, перехід від автоматизації окремих

приватних задач до комплексного розв'язання задач, з іншого - інтеграцію задач, що відносяться до різних етапів життєвого циклу модельованого об'єкту (карти), включаючи проектування і технологію його виробництва.

В процесах моделювання реалізується принцип єдності інформаційної моделі об'єкту як системно-організованої сутності на всіх етапах процесу моделювання і виготовлення карт.

Моделювання в ГІС здійснюється на основі декомпозиції початкових інформаційних даних з подальшим синтезом загального модельного розв'язання.

У процесі синтезу моделі використовуються інформаційні ресурси бази даних в умовах діалогової взаємодії проектувальників з комплексом засобів автоматизації моделювання.

Технології моделювання в ГІС використовують наступні принципи:

- створення і використання єдиної інтегрованої інформаційної основи (моделі);
- використання комплексного моделювання;
- інтерактивна взаємодія з цифровою моделлю;
- ухвалення рішень на основі математичних моделей і процедур, які реалізуються засобами обчислювальної техніки;
- забезпечення єдності моделі на всіх етапах і стадіях обробки інформації;
- використання єдиної інформаційної бази для автоматизованих процедур синтезу і аналізу моделі, а також для управління процесом моделювання;
- проведення багатоваріантного проектування і комплексної оцінки проекту з використанням методів оптимізації;
- наявність добре розвинених інформаційних ресурсів, які в ГІС виступають у формі інформаційних і математичних моделей об'єктів, пакетів прикладних програм, банків даних і організаційно-методичних матеріалів;
- забезпечення максимальної інваріантності організації інформаційних ресурсів, їх слабкої залежності від конкретної області використання, простоти настройки на галузеву специфіку;

- створення спеціальної інформаційно-довідкової системи і організація взаємодії з нею як користувача, так і фахівця в системній підтримці пакету моделювання.

Аналіз робіт в області вживання і розвитку ГІС показує, що практично в кожній роботі дається індивідуальний варіант технологічного розв'язання автоматизації моделювання. В той же час методи опису інформаційного і лінгвістичного забезпечення мають тенденції до єдиного формального опису, тобто більшою мірою інваріантні до задач моделювання, ніж технології.

Проте можна виділити ряд загальних для широкого набору ГІС технологічних підходів, які можуть бути класифіковані за ступенем (рівнем) їх інтеграції:

- **процедура** - елементарна операція обробки інформації;
- **задача** - сукупність процедур для отримання одного виду проектної продукції;
- **процес** - сукупність задач, що забезпечують реалізацію типового циклу перетворення даних;
- **функція** - групи спеціалізованих задач, що виконують взаємозв'язані роботи, в ході яких випускається спеціалізований комплект проектних документів;
- **комплекс робіт** - сукупність робіт, що закінчуються випуском комплекту проектних документів;
- **інтегровані роботи** - випуск комплекту документів; підтримка і автоматичне оновлення бази даних; внесення даних в експертну систему; видача разом з типовим комплектом документації прогнозів, рекомендацій, експертних оцінок проекту; інформаційний обмін з мережами баз даних і ГІС.

Задачі ефективного інтерактивного спілкування користувача з ЕОМ вельми актуальні зважаючи на неможливість при розв'язанні ряду задач повністю автоматизувати процес моделювання.

Метод імітаційного моделювання - один з шляхів вибору оптимальних рішень. Практичне використання цього методу в ГІС забезпечується системами імітаційного моделювання (СІМ).

Для зберігання набору типових моделей і їх елементів, зберігання інформаційно-довідкової інформації необхідне вживання *спеціалізованих баз даних*.

Бази даних можуть утворювати розподілену або централізовану систему типу банку даних. Для розв'язання задач обміну інформацією між базами даних потрібна *інтегрована інформаційна основа*.

Для зручності спілкування користувача із ЕОМ потрібне *лінгвістичне забезпечення*.

При видачі інформації користувачу основним технологічним процесом є **графічне моделювання**. Методи моделювання графіки повинні бути інваріантні до структури графічної бази даних і технічних засобів. Елементи теорії алгебри автоматних моделей, синтезу типових конструктивних моделей спрощують процес отримання складних графічних зображень.

2.5.3. Особливості моделювання в ГІС

При моделюванні в ГІС можна виділити наступні програмно-технологічні блоки:

- операції перетворення форматів і представлення даних;
- проекційні перетворення;
- оверлейні операції;
- цифрове моделювання рельєфу.

Операції перетворення форматів і представлення даних

Операції перетворення форматів і представлення даних - засіб обміну даними з іншими системами. За набором форматів введення-виведення визначаються можливості ГІС використовувати дані, що одержані за різними технологіями.

Початкові просторові дані і дані, які одержані в процесах обробки ГІС, можуть мати різні набори форматів. Тип формату частіше за все визначається програмними засобами, які використовуються, що особливо характерне при зборі даних за різними технологіями. Перетворення форматів здійснюється за допомогою спеціальних програм – *конверторів*.

Векторизація. Дані можуть мати векторне або растрове представлення. Між векторними і растровими зображеннями є істотна відмінність.

Растрові зображення відображають п о л я д а н и х, тобто носять п о л ь о в и й характер. Векторні зображення в

ГІС, як правило відображають геоінформаційні об'єкти, тобто носять об'єктний характер.

Операції перетворення даних із растрового представлення у векторне (векторизація) - одні з найважливіших при обробці просторово-часових даних в ГІС.

У технологічному плані перетворення від растру до вектора для ГІС означає перехід від *польового* представлення даних до *об'єктного*.

Растрово-векторне перетворення застосовується при інтерпретації сканованих аерокосмічних зображень (виділення і оконтурення на них однорідних областей), в методах дигіталізації цифрових растрових картографічних зображень, при обробці даних, одержаних з цифрових фотокамер або від відеозйомки, і т.п.

Векторні зображення викреслених на папері креслень, карт неможливо одержати за допомогою сканера. При скануванні виходить тільки растрова копія оригіналу.

Векторні представлення в порівнянні з растровими володіють рядом переваг:

- багато додатків, що використовують графіку для розрахунків, працюють тільки з векторними файлами, оскільки векторна технологія ефективна;
- при зберіганні на комп'ютері векторні файли займають менший (в 100 - 1000 разів) об'єм пам'яті, ніж растрові оригінали;
- векторні малюнки легко редагуються, масштабування і трансформація векторного зображення відбувається без спотворень, чого не можна сказати про перетворення растрових зображень.

Векторні зображення звичайно створюються і редагуються за допомогою спеціальних програм - графічних редакторів. Такий редактор входить до складу всіх інструментальних ГІС-систем. Проте існує багато спеціалізованих програм - векторизаторів.

Програми-векторизатори в основному орієнтовані на автоматизацію процесу векторизації растрового зображення. Ручний режим в них вводиться для корекції векторизованого зображення, одержаного в автоматичному режимі.

Програми - векторизатори відрізняються один від одного рядом параметрів:

- видом управляючої операційною системи;

- можливістю векторизації різних видів растру: бінарного, півтонового або кольорового;
- необхідною якістю векторизації растру;
- наборами фільтрів (тематичними);
- можливістю і методами редагування первинного растрового зображення;
- видом графічної оболонки, за допомогою якої оператор здійснює управління векторизатором.

Векторизація дозволяє перетворити растрові зображення, що зберігаються в растрових файлах, у векторні малюнки і зберігати їх у векторних файлах.

Задачею перетворення є не тільки отримання векторного образу, практично ідентичного початковому растровому, але і збереження в розпізаному векторному об'єкті геометричних зв'язків растрових аналогів при максимальній інформативності векторного образу.

З цих позицій векторизація може бути розглянута як спосіб стиснення растрових даних із збереженням інформативності первинного зображення за заданими критеріями виділення. Зокрема, растрове зображення розмірної лінії із стрілками повинне розпізнаватися саме як розмірна лінія, а не як сукупність окремих ліній.

Векторизація може бути грубою (швидкою), наприклад застосовується алгоритм для векторизації растрових аналогів ліній з кутом нахилу, кратним 45° .

Для векторизації ареальних об'єктів растрового зображення застосовують відомий фільтр типу *outline*, який векторизує межі у вигляді *контура*.

Не дивлячись на наявність автоматизованих режимів в програмах - векторизаторах, автоматизація цього процесу стикається з великими труднощами, тому ефективність значною мірою залежить від того, наскільки успішно чисто автоматизовані методи векторизації поєднуються з інтерактивними можливостями користувача контролювати процес растрово-векторного перетворення і впливати на нього.

Поки важко піддаються автоматизації процеси фільтрації первинного растрового зображення, придушення шумів, індикації і

усунення розривів ліній, обліку зміни товщини ліній, збереження топологічних ознак.

При автоматизованій векторизації картографічних даних виникають складнощі в розпізнаванні ситуацій з великим числом розривних дискретних елементів, розпізнаванні написів в областях з високою щільністю нанесення або перенесенням напису.

Не дивлячись на наявність великої кількості програмних засобів, що виконують перетворення растру у вектор, поки найточнішим і надійним є інтерактивний метод перетворення, заснований на евристичному моделюванні. Це обумовлено значною кількістю спотворень, що вносяться програмами - перетворювачами.

У основу векторного перетворення покладений набір процедур, які створюють векторний аналог растрового зображення і які застосовують свій алгоритм векторизації.

Показ векторного зображення в будь-якому масштабі відбувається без спотворень, оскільки при відображенні на екрані програма, використовуючи математичний опис кожного векторного об'єкту, завжди може обчислити розташування і колір пікселів екрану так, щоб оптимальним чином передати зображення. Можливими стають і такі режими показу векторного зображення, які не мають аналогів при управлінні видом растрового зображення. Наприклад, показ векторних об'єктів в каркасному (дротяному) представленні, що дає можливість знайти помилки в побудові картографічної інформації (побачити, які лінії не з'єднуються в кінцевих точках), і робить векторне зображення легко читаним.

При створенні векторного об'єкту користувач вибирає необхідний йому тип векторного об'єкту і задає параметри, що описують геометричні розміри цього об'єкту. При редагуванні векторного зображення застосовуються прості алгоритми, за допомогою яких можна легко вибирати і змінювати векторні об'єкти. При цьому можна використовувати геометричні відносини між об'єктами, оперуючи точними математичними термінами.

Слід підкреслити, що основою більшості програм - векторизаторів служать бінарні зображення. Це обмежує ефективність автоматизованої векторизації і вимагає великих витрат часу при обробці півтонових зображень в інтерактивних режимах.

У даний час застосовується комплексний підхід, що включає сканування, часткову автоматизовану векторизацію, візуальний контроль перетворення, інтерактивне редагування даних; уніфікацію і перетворення даних для зберігання в базі даних.

Векторно-растрове перетворення. Можна використовувати для генералізації зображення. При цьому суттєве значення має роздільна здатність створюваної (електронної) карти. Перетворення типу *вектор-растр* - більш проста задача. Воно здійснюється при виведенні векторних даних на пристрої друку, при візуалізації графіки на растрових відеомоніторах, побудові електронних карт або карт-підкладок.

До цієї ж групи операцій відносять стиснення або розгортку растрових даних, заснованих на алгоритмах кодування і компресії, розбиття на шари, фрагментації або дефрагментації шарів.

Проекції і проекційні перетворення

Координати точок просторових об'єктів використовують для вказівки місцеположення об'єктів на земній поверхні. Поверхня Землі має складну форму. При складанні карт просторове положення точок відображається в плоскому (двовірному) вигляді. Для відображення положення точок поверхні на площині застосовують різні математичні моделі поверхні, які задаються різними картографічними проекціями.

Група математичних процедур ГІС, що здійснює перехід від однієї картографічної проекції до іншої або від просторової системи до картографічної проекції, носить назву ***проекційних перетворень***. Ця група реалізується методами моделювання, утворюючи єдиний блок. В цей блок входять і різні процедури обробки просторових даних для отримання нових проекцій на основі первинних. Ці процедури включають і прості операції перерахунку координат просторових об'єктів (повороту, зміщення, масштабування, тощо), і більш складніші (зв'язані, наприклад, з "укладанням" об'єктів в систему опорних точок), і найскладнішу підгрупу операцій (трансформація картографічних проекцій).

Розглянемо самі загальні класи проекційних перетворень [3] для розв'язання задач в ГІС.

Перетворення картографічних проекцій застосовують для переходу від первинної (збереженої в базі даних) картографічної композиції до тієї, що задається користувачем. Зокрема, коли цифрова карта (шар), виконана у відомій проекції і відповідно її теоретичним координатам, повинна бути перетворена в географічні координати або в іншу картографічну проекцію.

Д о с т о ї н с т в о м моделювання в ГІС є можливість трансформації космічного (або аеро-) знімка безпосередньо в картографічну проекцію, минувши побудову фотограмметричної моделі або традиційну фотограмметричну трансформацію знімків. Ця можливість надається в пакетах ГІС, в першу чергу пов'язаних з обробкою даних дистанційного зондування.

Виділення підгрупи перетворення проекцій пов'язано з необхідністю інтеграції даних з різних картографічних джерел з різномірною математичною основою. Карти можуть відрізнятися моделлю Землі, застосованою при створенні карти; картографічною проекцією; системою координат, прив'язаною до моделі Землі, що використовується.

Технологічно для проекційних перетворень в ГІС необхідно створити файл опису картографічної проекції і вибрати початковий файл. З набору типів перетворень вибирають необхідне, задають необхідні параметри, і проекційне перетворення здійснюється автоматично шляхом створення нової картографічної проекції в заданому шарі і відповідному файлі.

Проекційні перетворення вимагають розгляду різних класів проекцій, які використовуються для створення карт [3]. Картографічні проекції класифікують за різними ознаками, наприклад залежно від характеру і розміру спотворень. Розглянемо деякі класи картографічних проекцій.

➡ **Рівнокутні проекції** (conformal projection) зберігають без спотворень кути і форми малих об'єктів, але в них різко деформуються довжини і площі об'єктів. В математиці такі перетворення називають *конформними*.

➡ **Рівновеликі проекції** (equivalente projection) не спотворюють площ, але в них спотворені кути і форми об'єктів.

Перший вид проекцій прийнятний для прокладки маршрутів транспортних засобів, другий - для визначення площ і землекористування.

➔ **Довільні проекції** (arbitrary projection) мають спотворення кутів, площ і довжин, але ці спотворення розподілені по карті наприклад, так, що мінімальні спотворення є в центральній частині і ростуть до країв. Серед довільних проекцій виділяють *рівнопроміжні* (equidistant projection), в яких спотворення довжин відсутні по одному з напрямів: уздовж меридіана або уздовж паралелі.

➔ **Конічні проекції** (konikal projection). По характеру спотворень конічні проекції можуть бути різними. Найбільше поширення набули рівнокутні і рівнопроміжні проекції.

Утворення конічних проекцій можна представити як проектування земної поверхні на бічну поверхню конуса, певним чином орієнтованого відносно земної кулі (рис.2.18). В прямих конічних проекціях осі земної кулі і конуса співпадають. При цьому конус береться або дотичний, або січний.

Після проектування бічна поверхня конуса “розрізається” і “розвертається” в площину. При проектуванні за методом лінійної перспективи виходять перспективні конічні проекції, що володіють тільки проміжними властивостями за характером спотворень.

Інший метод утворення конічних проекцій - аналітичний. В його основу покладені рівняння проекцій, що впливають із їх визначення і формули загальної теорії спотворень. В конічних проекціях є дві постійні проекції α і c . Постійна α дорівнює синусу широти стандартної паралелі або, що те ж саме, синусу кута при вершині конуса.

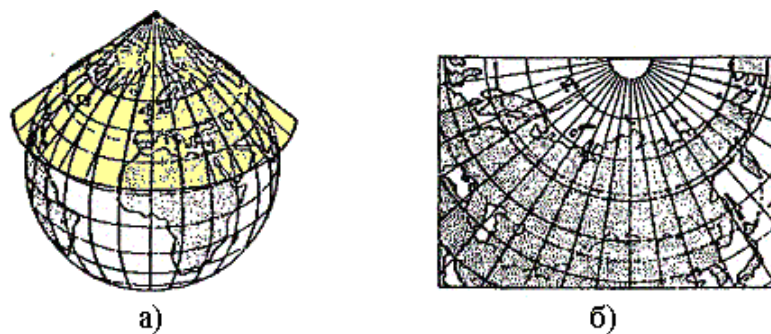


Рис. 2.18. Конічні проекції:

а) принцип побудови проекції; б) вид проекції

Залежно від розмірів території, що зображається, в конічних проекціях приймаються одна або дві паралелі, уздовж яких зберігаються довжини без спотворень. Одна паралель (дотична) приймається при невеликому протязі по широті; дві паралелі (січні) - при великому протязі для зменшення ухилень масштабів від одиниці. В літературі їх називають *стандартними паралелями*.

Конічна проекція даної групи цілком визначається, якщо задані постійні проекції або будь-які величини, з ними зв'язані. Це можуть бути широти стандартних або крайніх паралелей. В останньому випадку, наприклад, може бути доповнена умова, щоб масштаби на крайніх паралелях і на паралелі з якнайменшим масштабом були рівні за абсолютною величиною.

➡ **Азимутальні проекції** (azimuthal projection).

В даних проекціях паралелі (альмукантарати) зображаються концентричними колами, а меридіани (вертикали) - пучком прямих, які виходять з центру (рис.2.19).

Кути між меридіанами проекції дорівнюють відповідним різницям довгот. Проміжки між паралелями визначаються прийнятим характером зображення (рівнокутним чи іншим) або способом проектування точок земної поверхні на прямокутну площину.

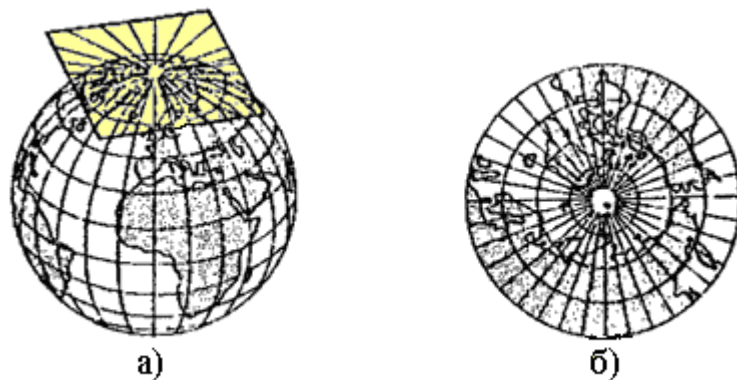


Рис. 2.19. Азимутні проекції:

а) принцип побудови проекції; б) вид проекції

Нормальна сітка азимутних проекцій ортогональна. Їх можна розглядати як окремий випадок конічних проекцій, в яких $\alpha=1$.

Застосовуються прямі, косі і поперечні азимутні проекції, що визначається широтою центральної точки проекції, вибір якої залежить від розташування територій. Меридіани і паралелі в косих

і поперечних проекціях зображаються кривими лініями, за винятком середнього меридіана, на якому знаходиться центральна точка проекції. В поперечних проекціях прямо зображається також екватор: він є другою віссю симетрії.

Залежно від спотворень азимутні проекції підрозділяються на рівнокутні, рівновеликі і з проміжними властивостями. В проекції масштаб довжин може зберігатися в точці або в одній із паралелей (уздовж альмукантарата). В першому випадку передбачається дотична картинна площина, в другому - січна. В прямих проекціях формули даються для поверхні еліпсоїда або кулі (залежно від масштабу карт), в косих і поперечних - тільки для поверхні кулі.

➡ **Циліндричні проекції (cylindrical projection).**

У прямих циліндричних проекціях паралелі і меридіани зображаються двома сімействами паралельних прямих ліній перпендикулярних одні одному. Таким чином задається прямокутна сітка циліндричних проекцій (рис. 2.20).

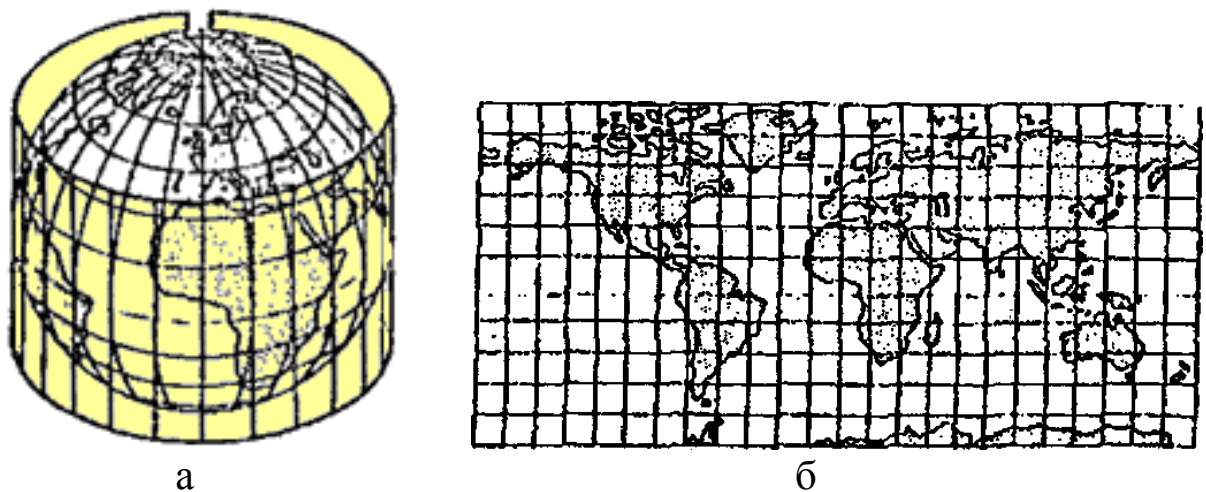


Рис. 2.20. Циліндричні проекції:
а) принцип побудови проекції; б) вид проекції

Проміжки між паралелями пропорційні різницям довгот. Проміжки між меридіанами визначаються прийнятим характером зображення або способом проектування точок земної поверхні на бічну поверхню циліндра. Із визначення проекцій виходить, що їх сітка меридіанів і паралелей ортогональна. Циліндричні проекції можна розглядати як окремий випадок конічних при $\alpha=0$ (вершина конуса в нескінченності).

За властивостями зображення проекції можуть бути рівнокутними, рівновеликими і довільними. Застосовуються прямі, косі і поперечні циліндричні проекції залежно від розташування області, що зображається. В косих і поперечних проекціях меридіани і паралелі зображаються різними кривими, але середній меридіан проекції, на якому розташовується полюс косої системи, завжди прямою.

Існують різні способи утворення циліндричних проекцій. Найпростішим представляється проектування земної поверхні на бічну поверхню циліндра (рис. 2.20, а), яка потім розгортається на площині [3] (рис. 2.20, б). Циліндр може бути дотичним до земної кулі або січним його. В першому випадку довжини зберігаються по екватору, в другому - по двох стандартних паралелях, симетричних щодо екватора.

Циліндричні проекції застосовуються при складанні карт дрібних і крупних масштабів - від загальногеографічних до спеціальних. Так, наприклад, аеронавігаційні маршрутні польотні карти частіше за все складаються в косих і поперечних циліндричних рівнокутних проекціях (на кулі).

У прямих циліндричних проекціях однаково зображаються одні і ті ж ділянки земної поверхні уздовж лінії розрізу - по східній і західній рамках карти (дубльовані ділянки карти) і забезпечується зручність читання за широтними поясами (наприклад, на картах рослинності, опадів) або за меридіональними зонами (наприклад, на картах годинних поясів).

Косі циліндричні проекції при широті полюса косої системи, близької до полярних широт, мають географічну сітку, що дає представлення про сферичність земної кулі. Із зменшенням широти полюса кривизна паралелей збільшується, а їх протяг зменшується, тому зменшуються і спотворення (ефект сферичності).

У прямих проекціях полюс показується прямою лінією, по довжині, рівній екватору, але в деяких з них (проекції Меркатора, Уетча) полюс зобразити неможливо. Полюс представляється точкою в косих і поперечних проекціях. При ширині смуги до $4,5^\circ$ можна використовувати дотичний циліндр, при збільшенні ширини смуги слід застосовувати січний циліндр, тобто вводити редуційний коефіцієнт.

➡ **Поліконічні проекції** (policonic projection). В даних проекціях паралелі зображаються дугами ексцентричних кіл з центрами на середньому (прямолінійному) меридіані або його продовженні, а меридіани - кривими, симетричними відносно середнього меридіана (рис. 2.21).

Окремим випадком поліконічних проекцій є власне поліконічні проекції, для яких приймаються додаткові умови, і кругові проекції, з меридіанами у вигляді дуг ексцентричних кіл.

До поліконічних проекцій в широкому розумінні відносяться проекція Таїча (визначалася аналітично) і проекції Гінзбурга (одержані чисельними методами).

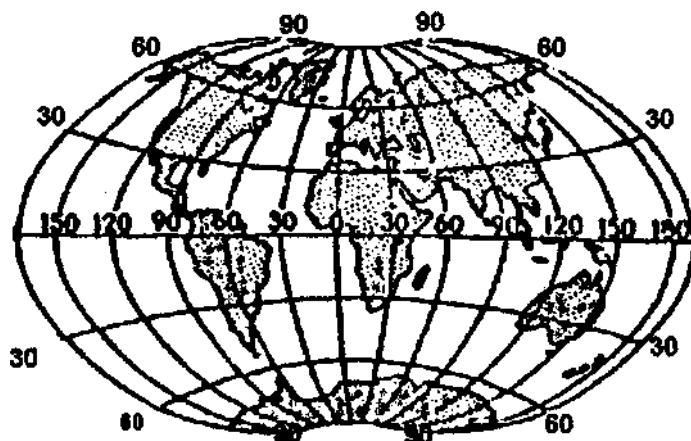


Рис. 2.21. Поліконічна проекція

➡ **Проекція Гауса-Крюгера.** К.Ф.Гаус в 1820 - 1830 рр. розробив "подвійну" рівнокутну проекцію, що зберігає довжини на середньому меридіані. Л.Крюгер в 1912 і 1919 рр. запропонував спосіб безпосереднього відображення еліпсоїда замість визначення, вказаного подвійною проекцією, і цю проекцію стали називати проекцією Гауса - Крюгера (Gauss - Kruger projection). Вона була прийнята в СРСР (на еліпсоїді Бесселя) в 1928 р. для всіх геодезичних і топографічних робіт. В ній створювали топографічні карти масштабів крупніше 1:500000, а з 1939 р. проекція Гауса-Крюгера стала застосовуватися і для карти масштабу 1:500000.

У квітні 1946 р. ухвалою уряду СРСР були затверджені розміри референц-еліпсоїда Красовського і нові початкові дати, що характеризують систему координат 1942 р.

Проекція Гауса-Крюгера не є строго рівнокутною, оскільки при її отриманні використано розкладання в такий ряд, для якого виконується тільки одна з умов Коші-Рімана.

При введенні в рівняння проекції ще одного додаткового члена ряду починає виконуватися друга умова, а перша, яка зберігалася раніше, не виконується.

Проекція при збереженні в її формулах достатньої кількості (7-8) членів є практично рівнокутною, тому можна вважати, що в ній дотримуються умови ортогональності сітки і рівності масштабів.

У проекції Гауса-Крюгера поверхня еліпсоїда на площині відображається за меридіанними зонами, ширина яких дорівнює 6° (для карт масштабів 1:300 000 - 1:10 000) і 3° (для карт масштабів 1:5000 - 1:2 000) (рис. 2.22, а).

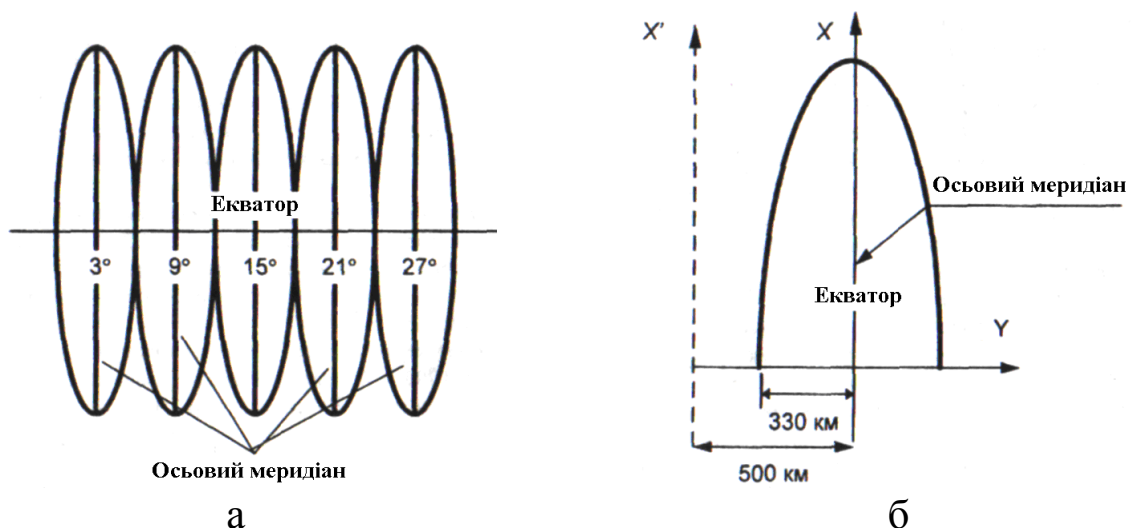


Рис. 2.22. Проекція Гауса - Крюгера:
а – загальний вигляд; б – система координат зони

Меридіани і паралелі зображаються кривими, симетричними відносно осьового меридіана зони і екватора, проте їх кривизна настільки мала, що західна і східна рамки карти показані прямими лініями.

Паралелі, які співпадають з північною і південною рамками карт, зображаються прямими на картах крупних масштабів (1:2000 - 1:50000), на картах дрібних масштабів - кривими. Початок прямокутних координат кожної зони знаходиться в точці перетину осьового меридіана зони з екватором (рис. 2.22, б).

Територія України знаходиться в північній півкулі, тому координати X всіх точок мають додатні значення. Координати Y мають від'ємні значення ліворуч осьового меридіана і додатні правіше нього (рис. 2.22, б). Щоб виключити з обігу від'ємні координати і полегшити користування прямокутними координатами на топографічних картах, до всіх координат Y додають постійне число 500000 м (рис. 2.22, б). Для вказівки зони, до якої відносяться координати, до значення Y ліворуч приписують номер зони. Наприклад, запис координати $Y = 30786543$ м означає, що точка знаходиться в 30-й зоні, її реальна координата дорівнює $786000 - 500000 = 286543$ м, тобто вона розташована правіше від осьового меридіану 30-ї зони. Запис координати $Y = 8397720$ м означає, що точка знаходиться у 8-й зоні, її реальна координата дорівнює $397720 - 500000 = -102\,280$ м, вона розташована ліворуч осьового меридіану 8-ї зони.

Ізоколи в проекції Гауса - Крюгера мають вигляд овалів, витягнутих уздовж осьового меридіана; в межах окремих листів карт вони мають вид прямих. Максимальні спотворення в кожній зоні будуть при значеннях широт 0° і $\pm 3^\circ$, в цих точках вони досягають $V_{\max} = 0,14\%$.

На відстані близько 200 км по обидві сторони від осьового меридіану і паралельно йому знаходяться дві ізоколи з нульовими спотвореннями довжин. При подальшому віддаленні від осьового меридіану масштаб довжин стає більшим за одиницю і досягає максимуму на перетині крайніх меридіанів зони з екватором ($V_{\max} = +0,05\%$).

Осьові меридіани трьохградусних зон співпадають позмінно то з осьовими меридіанами шестиградусних зон, то з крайніми меридіанами цих зон.

У багатьох країнах застосовують для складання топографічних карт універсальну поперечно - циліндричну проекцію Меркатора (UTM) в шестиградусних зонах. Ця проекція близька за своїми властивостями і розподілі спотворень до проекції Гауса-Крюгера, але на осьовому меридіані кожної зони масштаб $M = 0,9996$, а не одиниці. Проекція UTM виходить подвійним проектуванням: еліпсоїда на кулю, а потім кулі - на площину в проекції Меркатора.

Достатньо повний опис переліку проекцій приведений в розділах 3 і 6. Важливо відзначити, що існує відмінність між проекцією, з якою працює користувач, і проекцією первинної карти. Для дрібномасштабних карт картографічні проекції суттєво розрізняються. Процес трансформації картографічних даних з однієї проекції в іншу вимагає знання параметрів проекції джерела і похідної проекції, відомої з курсів математичної картографії і теорії картографічних проекцій і довідкових видань.

Перерахунок координат може бути представлений як розв'язання зворотної задачі математичної картографії, тобто перетворення прямокутних координат в географічні, а вслід за нею - прямої задачі з використанням рівняння похідної проекції або безпосереднього перерахунку даних з проекції в проекцію, минувши приведення до системи географічних координат.

При невідомих функціональних залежностях, що визначають відповідність географічних і умовних координат, можна скористатися методами трансформації за мережею опорних точок з відомими координатами. В цьому випадку виникає проблема оптимального вибору апроксимуючої функції. Наявність координатної основи - обов'язкова вимога трансформаційних перетворень.

Специфіка українського ринку геоінформаційних технологій визначає проблеми проекційних перетворень в країнах колишнього СРСР. Одна з серйозних проблем зв'язана з використанням вітчизняної картографічної інформації, що має значні відмінності від аналогічної іноземної. Як правило, іноземні програмні засоби не підтримують наряду поширені в нашій країні проекції, а інформацію про тип проекції і її параметри одержати достатньо складно.

Інша проблема полягає в тому, що широко поширені в колишньому СРСР (а зараз і в Україні) різноманітні методи роботи з просторовими даними не одержали визнання або не мають аналогів за рубежом і потребують аналізу і класифікації.

Оверлейні операції

Особливістю цифрової карти є можливість її організації у вигляді множини шарів (покривів або карт-підкладок).

Сутність оверлейних операцій полягає в накладенні різнойменних шарів (двох або більше) з генерацією похідних об'єктів, які виникають при їх геометричному нашаруванні, і спадкоємством їх атрибутів (рис. 2.23). Найбільш поширені операції оверлею двох полігональних шарів.

Шар, як правило, однорідний не тільки за тематикою, але і за типами об'єктів (точкові, лінійні, полігональні, растрові).

У алгоритмах операцій накладення широко застосовуються методи математичної логіки і структурного аналізу.

При накладенні картографічних покриттів в результаті перетинів меж полігонів утворюється новий набір об'єктів покриття. Характеристики нових полігонів визначаються характеристиками початкових, які створюють нові просторові і знакові взаємозв'язки даних.

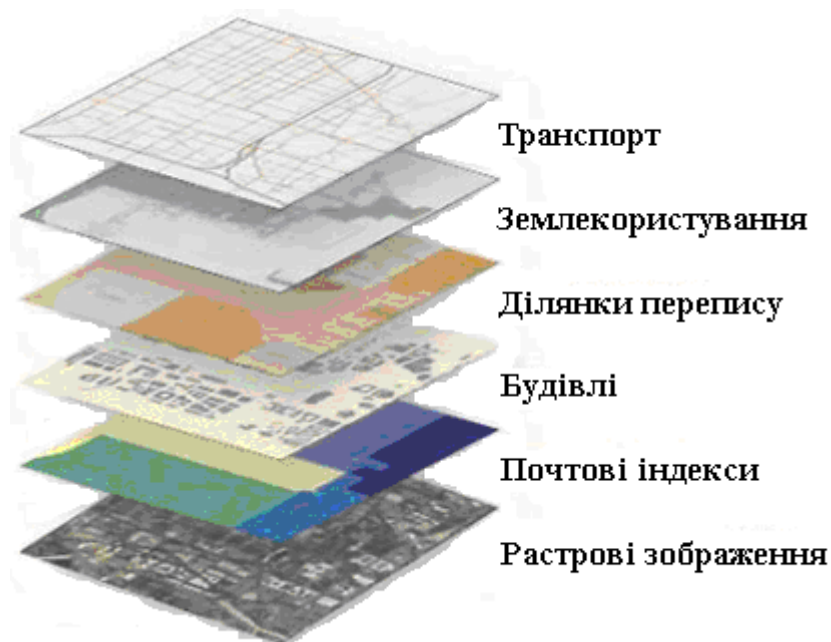


Рис.2.23. Приклад тематичних шарів

Оверлейні процедури дозволяють суміщати сітку адміністративних районів, комунікаційні лінії, зони затоплення, статистику злочинності, дорожньо-транспортних подій, заторів на дорогах та іншу інформацію про міське середовище для щоденного аналізу різних аспектів життя великого міста.

Цифрове моделювання рельєфу

Полягає в побудові моделі бази даних, яка б найкращим чином відображала рельєф досліджуваної місцевості. Ці процеси пов'язані із тривимірним моделюванням і задачами просторового аналізу.

Кажучи термінами моделювання, відбувається перехід від аналогової моделі безперервної поверхні до дискретної моделі набору точок, які оптимально відображають форму цієї поверхні.

Координати точок цифрової моделі рельєфу (ЦМР) розташовані на земній поверхні, що має складну форму. Для докладного відображення такої поверхні потрібно дуже велика кількість таких координат (точок), тому в ЦМР використовують різні математичні моделі поверхні.

У свою чергу, це визначає проблему вибору оптимального аналітичного опису або набору функцій для відображення рельєфу місцевості. При цьому може виникнути задача врахування можливих картографічних представлень і проекцій.

Залежно від характеру рельєфу місцевість підрозділяють на рівнинну, горбисту і гірську. Через це вводиться поняття п'яти основних форм рельєфу: *гора, котловина або западина, хребет, лощина, сідловина*.

Відображають рельєф різними способами: кольором, штрихуванням, горизонталями, відмітками характерних точок з підписами, тощо.

Одним з найпоширеніших методів побудови рельєфу є *метод горизонталей*. ***Горизонталлю називають геометричне місце точок (ліній) з рівними відмітками (однаковою висотою над рівнем моря)***.

Метод горизонталей найприйнятніший для ГІС. Він відкриває великі перспективи для моделювання горизонталей на основі тривимірних моделей, вписується в пошарове представлення векторних даних ГІС (оверлей), що створює можливість застосовування ряду стандартних математичних алгоритмів, які входять до складу ГІС. Нарешті, цей метод дозволяє використовувати ряд процедур просторового аналізу даних лінійних об'єктів.

Таким чином:

1. Вітчизняна картографічна інформація має значні відмінності від аналогічної іноземної. Як правило, іноземні програмні засоби не підтримують наряду поширені в нашій країні проекції, а інформацію про тип проекції і її параметри одержати достатньо складно. Це визначає перевагу вітчизняних розробок ГІС, що містять розробки потрібних проекційних перетворень.

2. Моделювання в ГІС охоплює ряд областей, які раніше не використовувалися для сумісної обробки інформації. Воно включає побудову проекту карти на основі методології САПР, проекційні перетворення, цифрове моделювання, автоматизацію процедур генералізації, аналіз мереж, перетворення форм представлення даних і т.д.

3. Інтеграція даних в ГІС створює можливості для якісного вдосконалення моделювання (тривимірних об'єктів або просторових мереж) з метою використання результатів моделювання в сферах управління, планування, бізнесу.

Розділ 3. МАТЕМАТИЧНА ОСНОВА КАРТИ

Математична основа (МО) є одним з фундаментальних понять геоінформатики і ГІС.

Наявність МО є принциповою відмінністю ГІС від САПР і інших інформаційних систем.

Саме МО дає можливість інтеграції різних даних, як на глобальному (загальноземному), так і на інших рівнях.

Технологічно МО є теоретичною базою побудови цифрових моделей і базових карт ГІС, забезпечує взаємно однозначну і топологічну відповідність просторових об'єктів і явищ природи і суспільства та їх зображення на картах.

Її розробка, вибір і користування базується на прийнятій в даній країні геодезичних системах і системах координат і висот, загальній теорії картографічних проекцій, теорії класів і окремих варіантів проекцій, а також інших її елементів - головних масштабів, компоновок і розграфок карт.

При створенні карт ГІС необхідно, щоб початкові картографічні матеріали були приведені в географічну систему координат і картографічну проекцію базової карти, прийняті для

карт даної ГІС, її МО забезпечувала б оптимальні умови розв'язання задач ГІС за допомогою карт.

Стисло розглянемо її основні положення.

3.1. Карта, її значення і інформаційна складність

Сьогодні складається розуміння картографії як науки про системне інформаційно-картографічне моделювання і пізнання геосистем, а карта розуміється як образно-знакова геоінформаційна модель дійсності. Все менше відмінностей залишається між сферами створення і користування карт.

У карті присутня інформація двох основних типів: позиційна (метрична), яка визначає абсолютне і відносне положення об'єктів і їх форми, і описова (атрибутивна). Структура вмісту загальногеографічної карти показана на рис.3.1.

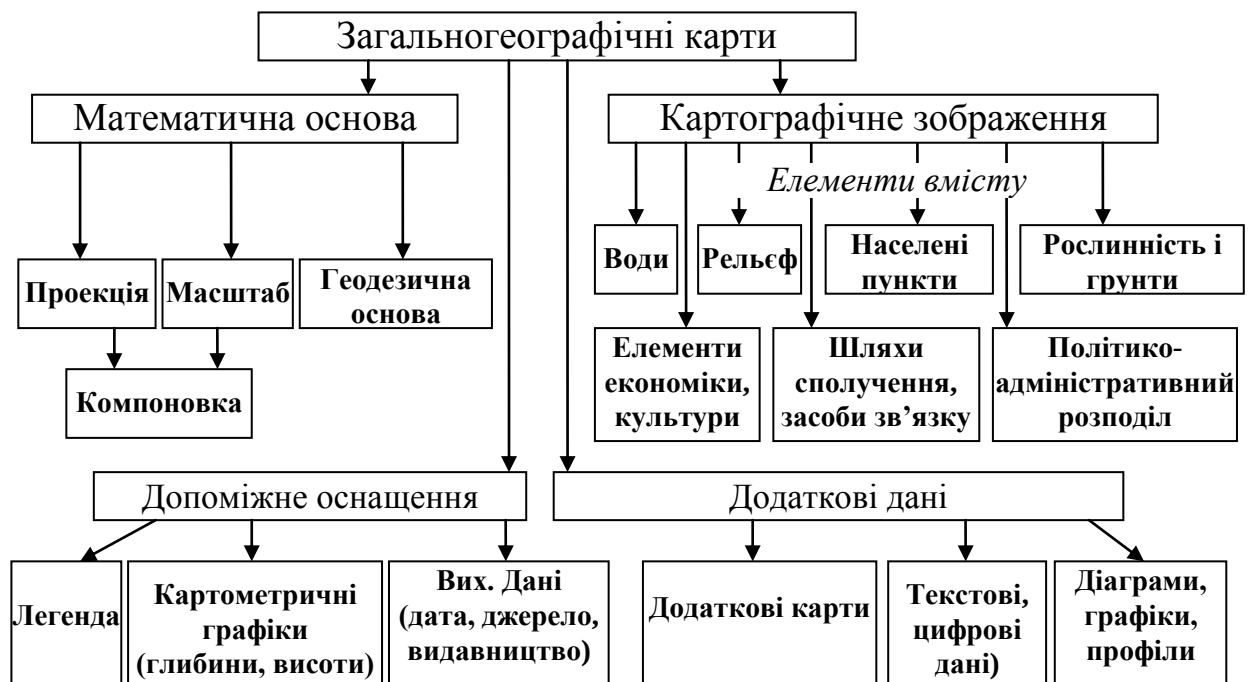


Рис. 3.1. Вміст загальногеографічної карти

Кarti розрізняються, перш за все, масштабами, наприклад:
 1:500 ÷ 1:2000 - топоплани (кадастрові плани);
 1:5000 - базова топографічна карта (генплани міст);
 1:25000 ÷ 1:100000 - топокарти (карти промислових районів);
 1:200000 і більш - оглядово-топографічні і оглядові карти (регіони, суб'єкти держави, Україна і т.д.).

Через різницю в одиницях вимірювання є істотні відмінності між стандартними вітчизняними і стандартними зарубіжними масштабами.

Уявлення про інформаційну насиченість і складність карт за основними характеристиками можна побачити з таблиці 3.1 для цифрових топографічних карт України (Росії та інших держав СНД) масштабів 1:200000 (2 км/см) і 1:1000000 (10 км/см), джерелами для створення яких з'явилися діапозитиви постійного зберігання:

Таблиця 3.1

Інформаційна складність карт

Показник		М 1:200000	М 1:1000000
Число листів		3543	138
Розмір листа (см)		40 × 40	40 × 60
Об'єм листа (Мб)	Середній	1	1.5
	Максимальний	2	3.0
Ср. число об'єктів/лист		20000	30000 (max>64000)
Число шарів		8	8
Число кодів об'єктів		320	170

3.2. Поняття про картографічні проекції. Класифікація проекцій за спотвореннями і способами проектування

Один з важливих перших кроків в створенні ГІС - вибір системи координат, яка разом з масштабом, еліпсоїдом і проекцією є частиною математичної основи карти і ГІС в цілому. Розуміти такі терміни як “система координат”, “проекція” також надзвичайно важливо для обміну інформацією з іншими ГІС.

Місцеположення об'єктів на поверхні Землі визначається за допомогою географічних координат. Хоча географічні координати добре підходять для визначення місцеположення об'єкту, вони не годяться для визначення його просторових характеристик, таких як довжина, площа і т.д., оскільки географічні широта і довгота не є однозначними одиницями вимірювання. Градус широти дорівнює градусу довготи тільки на екваторі. Для подолання цих труднощів, дані переводять з сферичних географічних координат в прямокутні спроектовані координати.

Системи координат, в яких здійснюється введення даних і робота в ГІС, можуть відрізнятися від систем координат виведення. Наприклад, оцифровка матеріалів може проводитися в одній

проекції, а складання макету карти і друкування даних на твердому носії інформації - в іншій.

3.2.1. Проектування еліпсоїда на площину і пов'язані з ним спотворення

Складну фігуру нашої планети, обмежену вирівняною поверхнею океану, називають геоїдом. Якнайкраще геометричне наближення до реальної фігури Землі дає еліпсоїд обертання — геометричне тіло, яке утворюється при обертанні еліпса навкруги його малої осі (рис. 3.2). Стиснення еліпсоїда моделює стиснення планети біля полюсів.

При переході від фізичної поверхні Землі до її відображення на площині (на карті) виконують дві операції:

1) проектування земної поверхні з її складним рельєфом на поверхню земного еліпсоїда, розміри якого встановлені за допомогою геодезичних і астрономічних вимірювань;

2) зображення поверхні еліпсоїда на площині за допомогою однієї з картографічних проекцій.

Обчислення і уточнення розмірів земного еліпсоїда, почате ще в XVIII в., продовжується до сьогоднішнього дня. Зараз для цього використовують супутникові спостереження і точні гравіметричні вимірювання.

Це непроста задача: потрібно розрахувати геометрично правильну фігуру – референс - еліпсоїд, який найкращим чином наближений до геоїду і щодо якого виконують всі геодезичні обчислення і розраховують картографічні проекції.

На території країн СНД (у тому числі і в Україні) прийнятий референс - еліпсоїд Ф.Н. Красовського, обчислений в 1940. Його параметри наступні: *велика піввісь (a)* - **6378245** м; *мала піввісь (b)* -

6356863 м; стиснення - $\frac{a-b}{a} = 1 : 298,3$.

Картографічна проекція – математично визначений спосіб відображення поверхні земного еліпсоїда на площину - задається парою рівнянь:

$$\begin{cases} x = f_1(B, L) \\ y = f_2(B, L) \end{cases}$$

де B - широта (latitude), L - довгота (longitude) точки, що відображається.

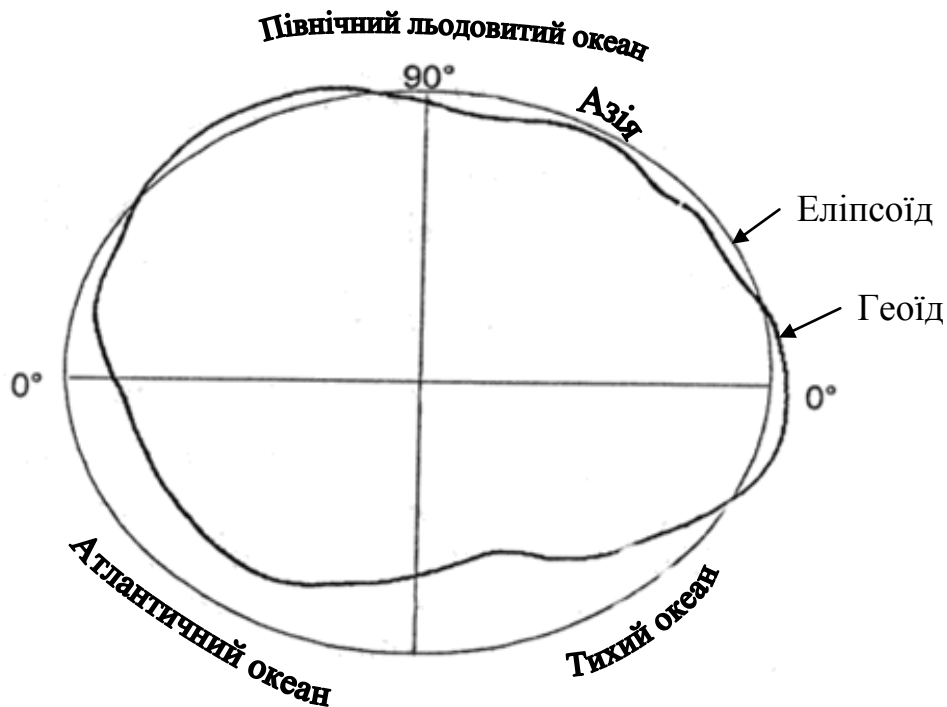


Рис. 3.2. Меридіональний перетин геоїда і земного еліпсоїда

Поверхню еліпсоїда (або кулі) не можна розвернути на площині подібно поверхні конуса або циліндра. Тому безперервність і однозначність відображення досягаються за рахунок нерівномірного розтягування (або стиснення) поверхні земного еліпсоїда при поєднанні її з площиною. Нескінченно малі кола, узяті в різних точках на поверхні земного еліпсоїда, в загальному випадку відображаються на площину в еліпси, які називаються *еліпсами спотворень* (рис.3.3).

Це означає, що масштаб зображення залежить не тільки від положення точки, але може змінюватися в даній точці зі зміною напрямку. Розрізняють *головний масштаб* (M), *масштаб зменшення Землі* для зображення на площині, і *приватні масштаби*: $\mu = \frac{d\sigma}{ds}$, де ds - величина радіусу малого кола на земному еліпсоїді в головному масштабі; $d\sigma$ - величина цього відрізка, відкладеного в заданому напрямі на площині. На рис.3.3 показані також: a , b – приватні масштаби для головних напрямів; m ,

p - приватні масштаби для меридіанів і паралелей, якщо вони не співпадають з головними напрямками. Разом із спотворенням довжин, розрізняють:

- **спотворення площ** $p = \frac{dP'}{dP}$, де dP' - площа еліпса спотворень, dP - площа відповідного малого круга на еліпсоїді;
- **спотворення кутів** ω - максимальне спотворення кута між двома Лініями на еліпсоїді при зображенні його на карті.

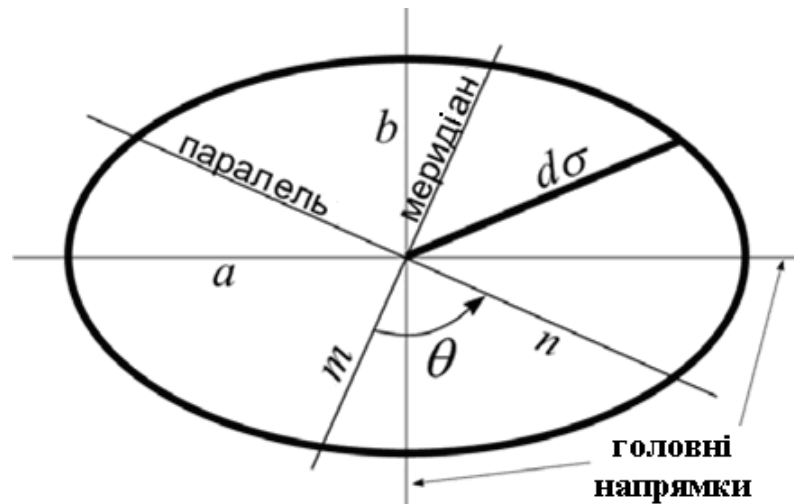


Рис.3.3. Еліпс спотворень

В залежності від вигляду спотворень проєкції класифікуються наступним чином.

Рівнокутні проєкції (conformal projection) зберігають без спотворень кути ($\omega=0$) і форми малих об'єктів, але в них різко деформуються довжини і площі об'єктів. В математиці такі перетворення називають конформними. В кожній точці рівнокутної проєкції масштаб однаковий на всіх напрямках, але змінюється від точки до точки. Еліпс спотворень перетворюється на коло з діаметром, який збільшується до полюса.

Рівновеликі проєкції (equivalente projection) не спотворюють площ ($p=1$), але в них спотворені кути і форми об'єктів (витягнутість еліпсів спотворень різна).

Перший вид проєкцій прийнятний для **прокладки** маршрутів транспортних засобів, другої – для визначення **площі** і землекористування.

Довільні проєкції (arbitrary projection), які не є ні рівнокутними, ні рівновеликими, мають спотворення кутів, площ і

довжин, але ці спотворення розподілені по карті, наприклад, так, що мінімальні спотворення є в центральній частині і зростають до країв. Серед довільних проекцій виділяють **рівнопроміжні** (equidistant projection), у всіх точках яких масштаб за одним із головних напрямів постійний і дорівнює головному масштабу (наприклад, за меридіанами або паралелями в проекціях, де вони співпадають з головними напрямками). За своїми властивостями рівнопроміжні проекції знаходяться у класифікації між рівнокутними і рівновеликими.

Проекцій, які взагалі не мають спотворень, не існує.

3.2.2. Співвідношення між спотвореннями і розподіл спотворень на карті

Спотворення на карті зв'язані між собою математичними залежностями. Візьмемо у якості початкових даних наступні: m , n - приватні масштаби меридіана і паралелі в точці; θ - кут між меридіаном і паралеллю (рис.3.3).

Спотворення площі одержимо як: $p = m \cdot n \cdot \sin \theta$.

Величини a і b визначаються системою рівнянь:

$$\begin{cases} a + b = \sqrt{m^2 + n^2 + 2 \cdot p} \\ a - b = \sqrt{m^2 + n^2 - 2 \cdot p} \end{cases}$$

Максимальне спотворення кутів може бути визначено за загальною формулою $\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a - b}{a + b}$, або її наближеному аналогу

$$\omega = 2 \cdot \frac{a - b}{a + b}.$$

Спотворення довжин в різних рівнокутних проекціях приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Спотворення довжин в рівнокутних проекціях

Рівнокутні проекції	Відстань в км від точки або лінії нульових спотворень			
	50	100	200	300
Азимутальні	1.00001	1.00006	1.00024	1.00057
Конічні	1.00002	1.00009	1.00037	1.00085
Циліндрові	1.00004	1.00012	1.00049	1.00111

3.2.3. Класифікація проєкцій за різновидністю меридіанів і паралелей нормальної сітки²

За різновидністю допоміжної геометричної поверхні, яка використана для побудови проєкції, в картографічній практиці прийнята наступна класифікація проєкцій:

- **циліндрові**, коли допоміжною площиною служить бічна поверхня циліндра, дотичного до еліпсоїда, або еліпсоїд;
- **конічні**, коли допоміжною площиною є бічна поверхня дотичного конуса, або сікуча конус;
- **азимутальні**, коли допоміжна поверхня - дотична або сікуча площину.

При побудові проєкцій можуть бути використані як аналітичний, так і геометричний (використання лінійної перспективи) методи. В останньому випадку проєкція називається з *урахуванням методу* (наприклад, перспективно-циліндрова).

За положенням допоміжної поверхні щодо полярної осі розрізняють проєкції: **нормальні (прямі)**, при побудові яких вісь циліндра або вісь конуса або нормаль до площини поєднувалися з полярною віссю земної кулі; **поперечні**, коли вказані осі ортогональні осі земної кулі; **косі** (рис.3.4), коли вказані осі знаходяться під кутом до осі земної кулі.

Циліндрові проєкції (cylindrical projection). В нормальних циліндрових проєкціях паралелі і меридіани зображаються двома сімействами паралельних прямих ліній, перпендикулярних один одному. Таким чином задається прямокутна сітка циліндрових проєкцій (рис.3.5). Проміжки між меридіанами пропорційні різницям довгот. Проміжки між паралелями визначаються прийнятим характером зображення або способом проектування точок земної поверхні на бічну поверхню циліндра.

Площа поверхні кульового поясу S заввишки h дорівнює площі його проєкції на дотичний циліндр і складає: $S = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h$. Тому, якщо паралель проєкції одержана продовженням площини паралелей до перетину з поверхнею циліндра, то проєкція буде рівновеликою. Для рис.3.5 головний масштаб має місце по лінії дотику циліндра (тобто на екваторі), m від екватора зменшується

² Більш детально про види проєкцій і їх перетворенню розглянуто у розділі 6

($m < 1$), n збільшується ($n > 1$). При збереженні головного масштабу уздовж всіх меридіанів ($m = 1$) одержимо циліндрову рівнопроміжну проекцію. Якщо проміжки між паралелями на циліндрі підпорядкувати умові не спотворення кутів, то одержимо рівнокутну циліндрову проекцію (нормальну проекцію Меркатора).

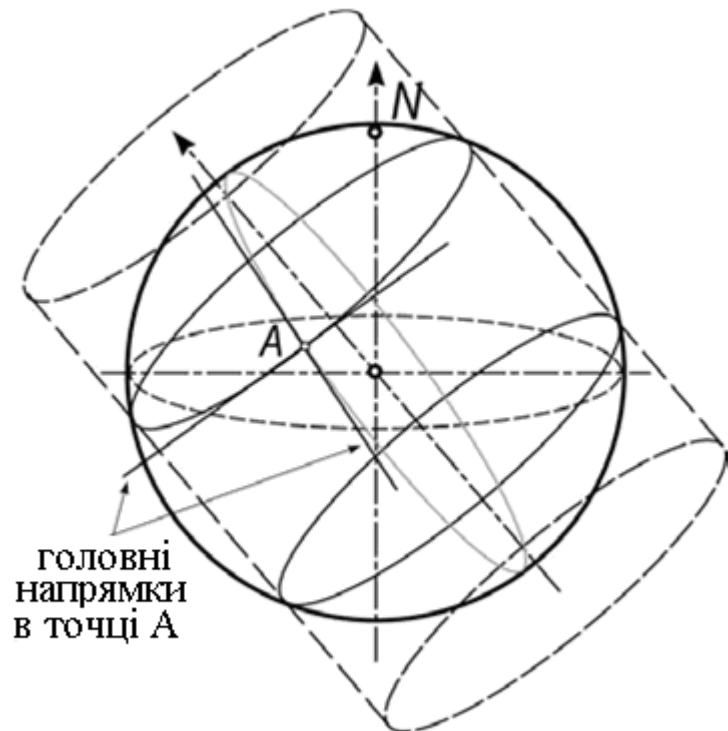


Рис.3.4. Використання косо́го циліндра

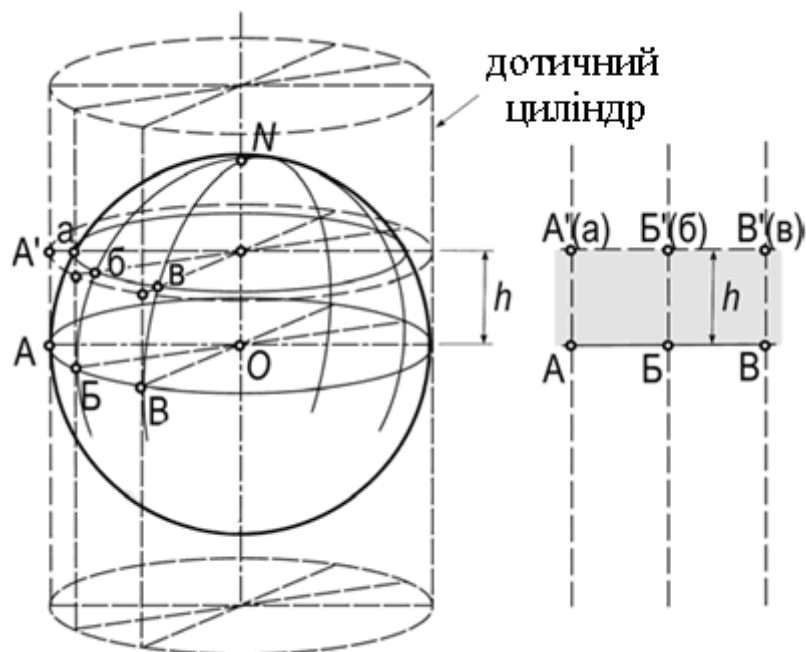


Рис.3.5. Побудова рівновеликої циліндрової проекції

Для збереження головного масштабу не за однією, а за двома паралелями, використовується не дотичний, а січний циліндр (рис.3.6).

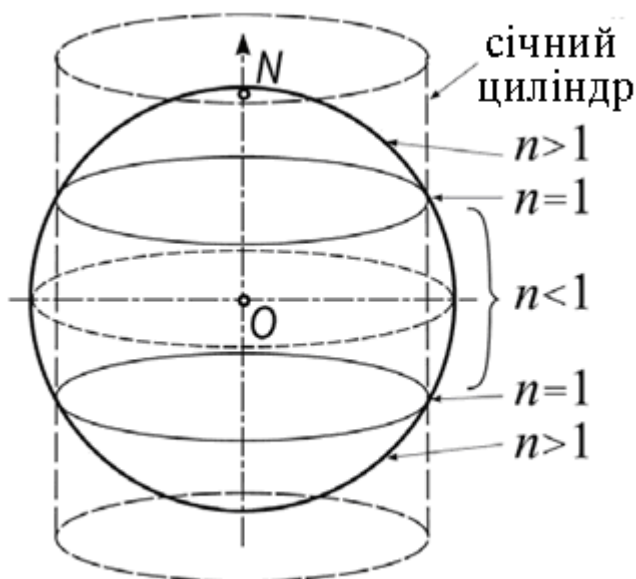


Рис.3.6. Використання січного циліндра

Паралелі, для яких $n=1$, називають стандартними паралелями. Циліндрові проекції застосовуються при складанні карт дрібних і крупних масштабів – від загальногеографічних до спеціальних.

Для усунення лінійних спотворень уздовж паралелей застосовуються проекції, які одержані за допомогою використання множин циліндрів, сікучих земний еліпсоїд уздовж мережі паралелей ($n=1$ і $m=1$). За виглядом нормальної сітки ці проекції називають **псевдоциліндровими**, оскільки паралелі залишаються паралельними одна одній прямими, а меридіани стають кривими, симетричними щодо середнього прямолінійного меридіана (p зменшується в порівнянні з рівнопроміжною проекцією, а ω зростає). Псевдоциліндрові проекції в основному застосовуються для зображення всієї земної поверхні або значних її частин в дрібних масштабах, тому земна поверхня приймається за поверхню кулі з радіусом R . Косі і поперечні псевдоциліндрові проекції використовуються досить рідко.

Конічні проекції (conical projection). Найбільше поширення набули рівнокутні і рівнопроміжні конічні проекції.

96

Поліконічні проекції (polyconic projection). Усунення лінійних спотворень уздовж паралелей може бути досягнуте використанням множини конусів, дотичних до земного еліпсоїда уздовж мережі паралелей ($n=1$). Для отримання торкання вершина конуса переміщується уздовж осі. В результаті, паралелі зображаються дугами ексцентричних кіл з центрами на середньому (прямолінійному) меридіані або його продовженні, а меридіани – кривими, симетричними щодо середнього меридіана. Проекція часто застосовується у вигляді видозміненої простої поліконічної проекції.

97

Кути між меридіанами проекції дорівнюють відповідним різницям довгот. Проміжки між паралелями визначаються прийнятим характером зображення (рівнопроміжним, рівнокутним або іншим), або способом проектування точок земної поверхні на картинну площину. В косих і поперечних проекціях такий же вигляд має сітка альмукантаратів і вертикалів, меридіани ж і паралелі частіше за все зображаються кривими лініями.

Застосовуються *прямі, косі і поперечні азимутальні проекції*, що визначається широтою центральної точки проекції, вибір якої залежить від розташування території. Меридіани і паралелі в косих і поперечних проекціях зображаються кривими лініями, за винятком середнього меридіана, на якому знаходиться центральна точка проекції. В поперечних проекціях прямою зображається також екватор: він є другою віссю симетрії. Залежно від спотворень азимутальні проекції підрозділяються на *рівнокутні, рівновеликі і з проміжними властивостями*. В проекції масштаб довжин може зберігатися в точці або уздовж однієї з паралелей (уздовж альмукантарата). В першому випадку передбачається дотична картинна площина, в другому – січна. Подібно псевдоконічним і поліконічним розрізняють і псевдоазимутальні і поліазимутальні проекції. В прямих проекціях формули відображення даються для поверхні еліпсоїда або кулі (залежно від масштабу карт), в косих і поперечних – тільки для поверхні кулі.

У зв'язку із специфічними властивостями, і залежно від положення точки центру проектування (T), виділяють три класи перспективно-азимутальних проекцій - *ортографічні, стереографічні і гномонічні* проекції. Положення центру проектування (T) щодо земної кулі (еліпсоїду) і допоміжної (картинної) площини (Π) для всіх трьох проекцій показано на рис.3.9. Важливою властивістю стереографічних проекцій є їх рівнокутність ($\omega=0$). В гномонічних проекціях всі великі кола кулі і, таким чином, меридіани земної кулі проектується в прямі.

Необхідно відзначити, що окрім розглянутих класів існує ще більший клас похідних (умовних) проекцій, які одержують, видозмінюючи наявні проекції відповідно до поставлених умов. Цей клас проекцій безперервно поповнюється.

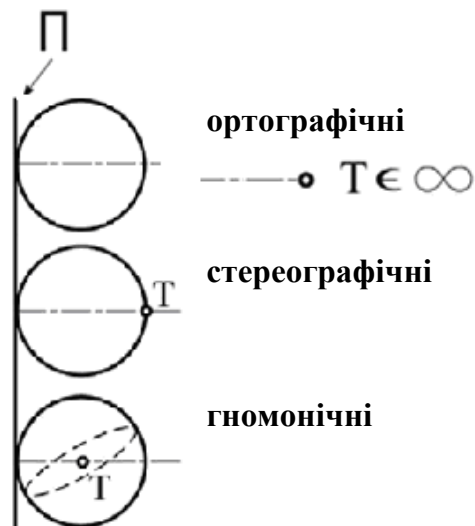


Рис.3.9. Різновиди перспективно-азимутальних проєкцій

3.3. Вибір системи координат

3.3.1. Географічна система координат

Географічна система координат (рис.3.10) використовує сферичні (тобто тривимірні) кутові географічні координати (широту і довготу), які базуються на одному з еліпсоїдів (наприклад, WGS 1984 або еліпсоїді Красовського). Для представлення географічної системи координат візуально на площині (наприклад, на екрані комп'ютера) іноді представляють широту як Y , довготу як X .

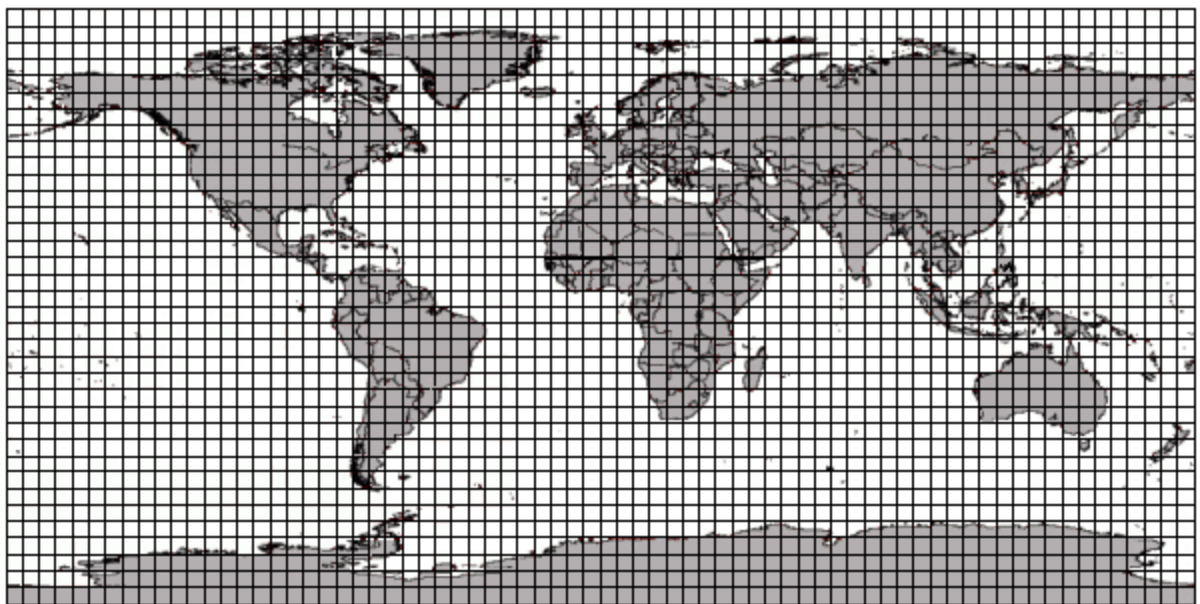


Рис.3.10. Приклад географічної проєкції

У цьому випадку мережа меридіанів і паралелей на площині представляє собою сітку з однаковими розмірами комірок і виглядає так, як показано на рис. 3.10.

Таке представлення іноді називають географічною проекцією.

Локальна система координат. Неприв'язані дані знаходяться в, так званих, локальній системі координат. Вона також є прямокутною (у неї також є початок координат і осі), але не має прямого зв'язку з географічною системою (прикладом таких даних може бути відсканована карта). Одержавши дані у відсканованій системі координат, але, не знаючи в якій саме, можна говорити, що дані знаходяться в локальній системі координат.

3.3.2. Поширені системи координат і картографічні проекції

Найпоширенішими системами координат для території України і країн СНД є³:

- *універсальна загальноземна система* WGS-84 (World Geodetic System - 1984), що базується на еліпсоїді WGS-84 з центром в центрі мас Землі;
- *референцна* (що використовується в Росії і деяких навколишніх країнах) - Pulkovo-1942 (СК-42), що базується на еліпсоїді Красовського; її початок координат зміщений щодо центру мас на відстань близько 100 м (тому ця система і носить назву референцної або відносної).

Система WGS-84 широко застосовується за рубежом, її використовують практично для всіх даних, що використовуються чи створюються в світі.

СК-42 широко використовується в російській картографії, на її базі засновані всі топографічні матеріали ВТУ ГШ РФ (Військово-топографічного управління Генерального штабу Російської Федерації) і інших країн СНД, у тому числі і в Україні.

Поширені картографічні проекції. В Росії і світі широко поширені групи проекцій UTM (Universal Transverse Mercator) і ГК (Гауса-Крюгера, більше поширена в Росії і країнах Східної Європи). Обидві ці групи базуються на одній поперечній проекції Меркатора

³ Більш детально про системи координат розглянуто у розділі 6

(Transverse Mercator), проте мають різну номенклатуру (нумерацію зон) і параметри проєкцій для кожної зони.

Найпоширенішою в Україні є **рівнокутна поперечна циліндрова проєкція (Гауса-Крюгера)**. Поверхня еліпсоїда розділяється в цій проєкції на сферодні двокутники (геодезичні зони). Таке представлення утворює розриви на краях, але масштаб усередині кожної окремої зони практично постійний.

У 1820–1830 рр. К.Ф.Гаус розробив "подвійну" рівнокутну проєкцію, що зберігає довжини на середньому меридіані. Проєкція призначалася для картографування Німеччини у гановерській тріангуляції. Але як істинно великий математик, він вирішив цю приватну задачу в загальному вигляді і зробив проєкцію, придатну для картографування всієї Землі. За своїм типом проєкція є симетричною щодо середнього меридіана, рівнокутною, рівновеликою на середньому меридіані. Проєкція не є строго рівновеликою і має властивість трохи завищувати істинну величину площі з віддаленням від середнього меридіану. Математичний опис проєкції був опублікований в 1866. В 1912-1919 інший німецький математик Л.Крюгер запропонував спосіб безпосереднього відображення еліпсоїда замість визначення, вказаного подвійною проєкцією, і цю проєкцію стали називати проєкцією Гауса–Крюгера (Gauss–Kruger projection). Вона була прийнята в СРСР (на еліпсоїді Беселя) в 1928г. для всіх геодезичних і топографічних робіт. В ній створювалися топографічні карти масштабів крупніше 1:500000, а з 1939 р. проєкція Гауса–Крюгера стала застосовуватися і для карти масштабу 1:500000. Проєкція є практично рівнокутною, тому в ній дотримуються умови ортогональності сітки і рівності масштабів.

У проєкції Гауса-Крюгера поверхня еліпсоїда на площині відображається за меридіанними зонами, ширина яких дорівнює 6° (для карт масштабів $1:500000 \div 1:10000$) і 3° (для карт масштабів $1:5000 \div 1:2000$). За широтою зони розділяються на пояси по 4° , які позначаються латинськими буквами від A до V. Саме ці листи і утворюють систему листів карти масштабу 1:1000000 (див. п. 3.4).

Меридіани і паралелі зображаються кривими, симетричними щодо осьового меридіану зони і екватора, проте їх кривизна настільки мала, що західна і східна рамки карти показуються прямими лініями. Паралелі, які співпадають з північною і

південною рамкою карт, зображаються прямими на картах крупних масштабів ($1:2000 \div 1:50000$), на картах дрібних масштабів – кривими.

Початок прямокутних координат кожної зони знаходиться в точці перетину осьового меридіану зони з екватором. В країнах СНД (і тому числі і в Україні) прийнята нумерація зон, відмінна від нумерації колон карти масштабу $1:1000000$ на тридцять одиниць, тобто крайня західна зона з довготою осьового меридіана $L=21^\circ$ має номер 4, на схід номери зон зростають. Номер зони N і довгота осьового меридіану L° в градусах пов'язані між собою рівністю $L^\circ = 6 \cdot N - 3$. Територія України знаходиться в північній півкулі, тому координати X всіх точок мають позитивне значення. Координати Y мають від'ємне значення ліворуч осьового меридіану і позитивні правіше нього. Щоб виключити з обігу від'ємні координати і полегшити користування прямокутними координатами на топографічних картах, до всіх координат Y додають постійне число 500000 м (рис.3.11).

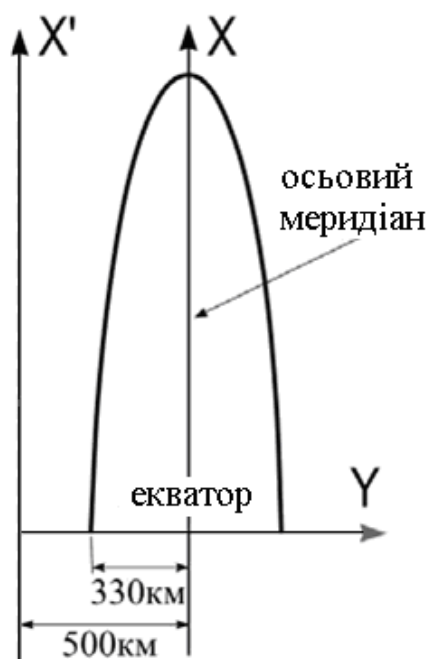


Рис.3.11. Система координат в 6°-ній зоні Гауса-Крюгера

Для вказівки зони, до якої відносяться координати, до значення Y ліворуч приписують номер зони. Наприклад, запис координати $Y=30786543$ м означає, що точка знаходиться в 30-й зоні, її реальна координата дорівнює $786000 - 500000 = 286543$ м, тобто вона

розташована праворуч осьового меридіану 30-ї зони. Запис координати $Y = 8397720$ м означає, що точка знаходиться у 8-й зоні, її реальна координата дорівнює $397720 - 500000 = -102280$ (м), вона розташована ліворуч осьового меридіана 8-ї зони.

Ізоколи в проекції Гауса-Крюгера мають вигляд овалів, витягнутих уздовж осьового меридіану. В межах окремих листів карт вони приймають вигляд прямих. Максимальні спотворення в кожній зоні будуть при значеннях широт 0° і $\pm 3^\circ$, в цих точках вони досягають 0,14%. На відстані близько 200 км по обидві сторони від осьового меридіану і паралельно йому знаходяться дві ізоколи з нульовими спотвореннями довжин. При подальшому віддаленні від осьового меридіана масштаб довжин стає більше одиниці і досягає максимуму на перетині крайніх меридіанів зони з екватором (+0,05%). Осьові меридіани трьохградусних зон співпадають поперемінно то з осьовими меридіанами шестиградусних зон, то з крайніми меридіанами цих зон.

У багатьох країнах для складання топографічних карт застосовують універсальну **поперечно-циліндрову проекцію Меркатора (UTM)** в шестиградусних зонах. Ця проекція близька за своїми властивостями і розподілом спотворень до проекції Гауса-Крюгера, але на осьовому меридіані кожної зони масштаб $M=0,9996$, а не одиниці.

Для топографічних карт в країнах СНД прийнято застосовувати проекцію Гауса-Крюгера.

3.3.3. Порівняння проекції Гауса – Крюгера із UTM

У проекції Гауса - Крюгера циліндр торкається еліпсоїда уздовж центрального меридіану, масштаб (scale) уздовж нього дорівнює 1. (рис.3.12).

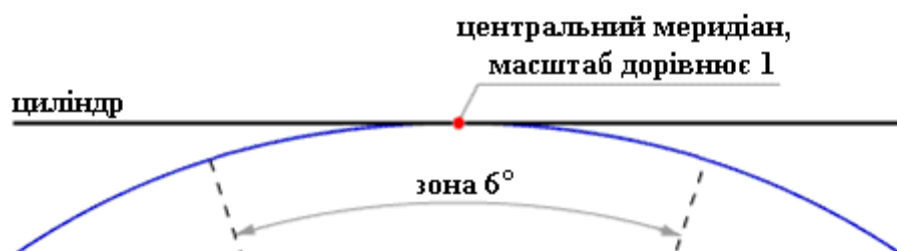


Рис.3.12. Проекція Гауса-Крюгера

UTM - це проекція на січний циліндр і масштаб дорівнює одиниці уздовж двох січних ліній, віддалених від центрального меридіана на 180 000 м (рис.3.13).

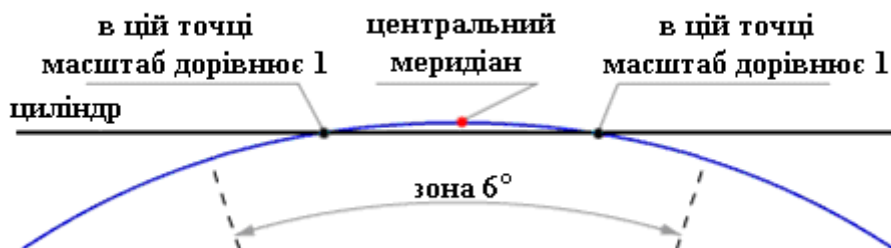


Рис.3.13. Проекція UTM

Циліндр розвертають в площину і накладають прямокутну кілометрову сітку з початком координат в точці перетину екватора і центрального меридіана. Вертикальні лінії сітки паралельні центральному меридіану. Для того, щоб всі прямокутні координати були позитивні, вводиться східне зміщення (false easting), яке дорівнює 500 000 м, тобто координата X на центральному меридіані дорівнює 500 000 м (рис.3.14):

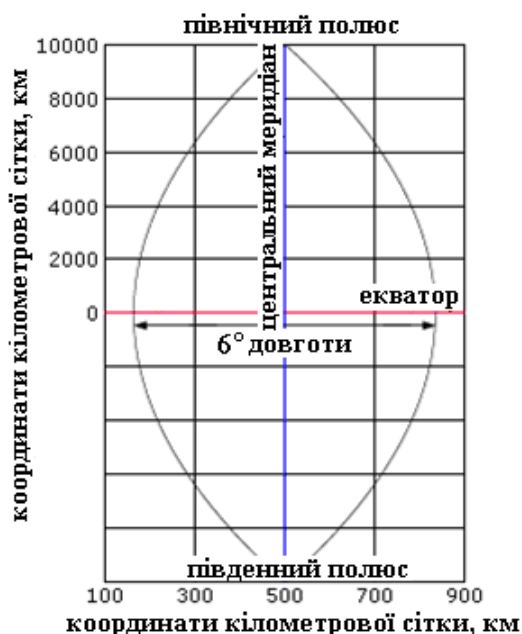


Рис.3.14. Розгортання проекції в площину

У південній півкулі для тих же цілей вводиться північне зміщення (false northing) 10000000 м.

Важливо розуміти, що вертикалі кілометрової сітки не орієнтовані точно на північ (за винятком лінії на центральному меридіані), а кут розбіжності з меридіанами може досягати до 3°.

Порівняльна характеристика проекцій приведена в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Порівняння UTM і проекції Гауса - Крюгера

	UTM	Гаус-Крюгер
Ширина зони	6°	6°
Масштаб уздовж центрального меридіану	0.9996	1.0000
Початковий меридіан	180°	180°
False Easting	500 000 м	500 000 м
False Northing (північна півкуля)	0 м	0 м
False Northing (південна півкуля)	10 000 000 м	10 000 000 м
Діапазон вживання	80°S - 84°N	

Перехід між системами координат. Останнім часом, з розвитком супутникової навігації, проблема переходу від універсальної загальноземної системи координат, що використовується приладами GPS - WGS84 до інших систем координат, наприклад СК-42 (Pulkovo 1942) встає особливо актуальною. Для переходу від однієї системи координат до іншої використовується набір параметрів, що визначають відмінність еліпсоїда, на якому базується одна система координат, від іншого еліпсоїда. Це так звані лінійні елементи трансформації, що визначають зсув центру мас еліпсоїда щодо загальноземного і кутові елементи трансформації, що визначають, відповідно, поворот еліпсоїда щодо загальноземного. Різниця між одними і тими ж координатами в різних системах координат сягає порядку 150 метрів. Якщо видно, що одні дані рівномірно зміщені щодо інших слоїв карти на цю величину, то, швидше за все, використовуються дані, що знаходяться в різних системах координат, наприклад, одночасно використовуються дані в WGS84 і Pulkovo 1942.

3.4. Номенклатура і розграфка топографічних карт

Оскільки основою інтеграції даних в ГІС є географічна інформація, необхідно розглянути поняття *розграфка* і *номенклатура* топографічних карт.

3.4.1. Побудова топографічних карт

На окремі листи топографічні карти діляться лініями меридіанів і паралелей, причому кожний лист карти точно указує положення на земному еліпсоїді ділянки місцевості, що зображається, і його орієнтацію за сторонами світу.

Розграфкою називається розділення топографічних карт на окремі листи.

Номенклатура - це система позначень окремих листів топографічних карт.

Загальногеографічні карти діляться на три види:

- **оглядові** (масштаб 1 : 1 000 000 і дрібніші);
- **оглядово-топографічні** (масштаб 1:100 000 ÷ 1: 1 000 000);
- **топографічні** (масштаб 1 : 100 000 і крупніші).

Оглядово-топографічні карти складаються за картами більш крупніших масштабів.

Топографічні карти складаються за результатами зйомок територій і відрізняються детальністю зображення місцевості. Це багатолістні карти, тобто на кожному листі відображається частина території, а в сукупності на всіх листах розміщується повне її відображення. Строго кажучи, криволінійна частина поверхні, що відображається на листі карти, відповідає якійсь криволінійній трапеції. Тому для позначення певних листів карти використовують термін *трапеція*.

В основу розграфки топографічних карт покладений лист карти масштабу 1:1000000. Для складання карти такого масштабу зображення земної поверхні розбивається на 60 *колон* (двохкутників), починаючи від Грінвічського меридіану через 6° (рис.3.15).

Двохкутники нумеруються арабськими цифрами від 1 до 60, від меридіану 180° із заходу на схід (зліва на право). Можлива нумерація від 0°. У цьому випадку двохкутники називають не колонами, а *зонами*. Нумерація зон від колон відрізняється на 30 одиниць, наприклад, колона з номером 40 відповідає зоні з номером 10.

Таким чином колони і зони ділять земну кулю уздовж меридіанів.

Паралелями через 4° уздовж широти зображення земної поверхні ділиться на ряди, які позначаються буквами латинського алфавіту на північ і південь від екватора (рис. 3.15) . Таким розподілом уздовж меридіанів і паралелей визначається номенклатура листа карти масштабу **1 : 1000000** (мільйонної).

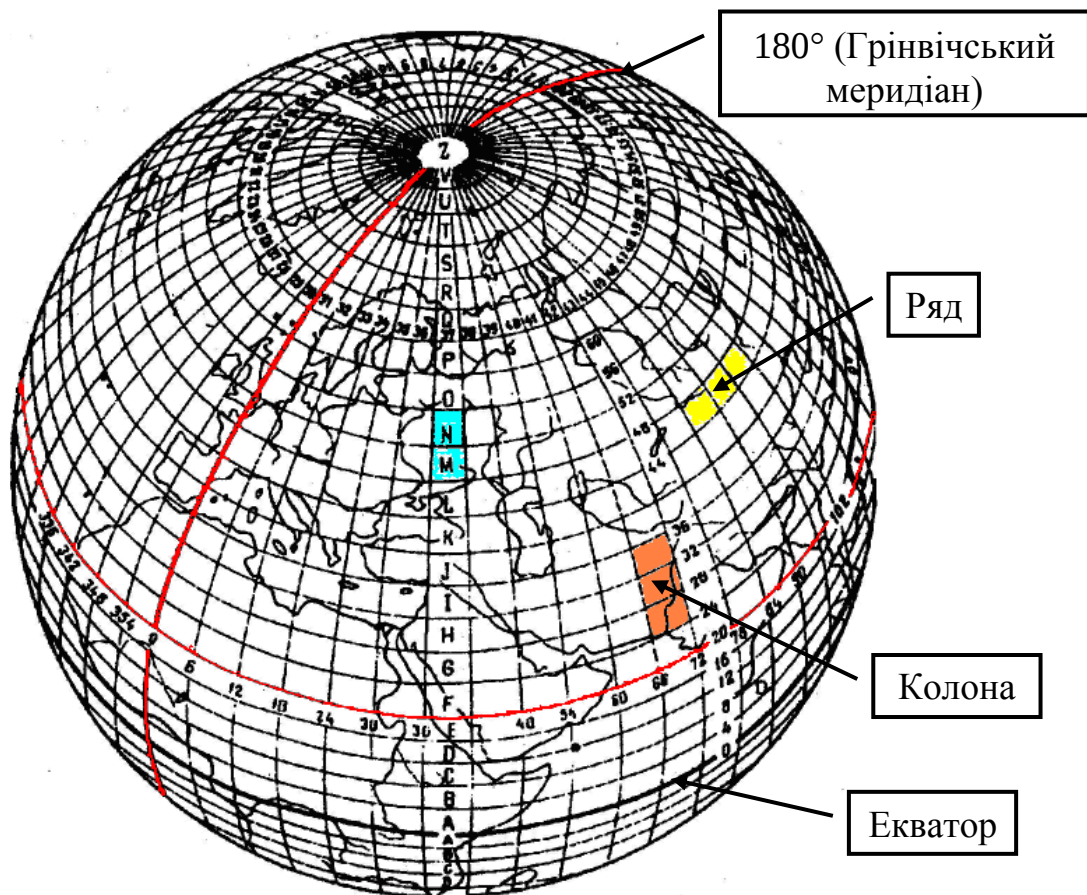


Рис. 3.15. Номенклатура і розграфка карти масштабу 1:1000 000

Номенклатура кожного листа включає букву ряду і номер колони.

Так (рис.3.16), лист, на якому знаходиться м. *Харків* ($50^\circ 10'$ - *північної широти*; $36^\circ 20'$ - *східної довготи*), має номенклатуру *М-37*, що відповідає $48^\circ \div 52^\circ$ широти і $36^\circ \div 42^\circ$ довготи. Лист, на якому знаходиться м. *Одеса* ($46^\circ 28'$ - *північної широта*; $30^\circ 43'$ - *східної довготи*), має номенклатуру *Л-36*, що відповідає $44^\circ \div 48^\circ$ широти і $30^\circ \div 36^\circ$ довготи.

Номенклатура карт для території України приведена на рис.3.16.

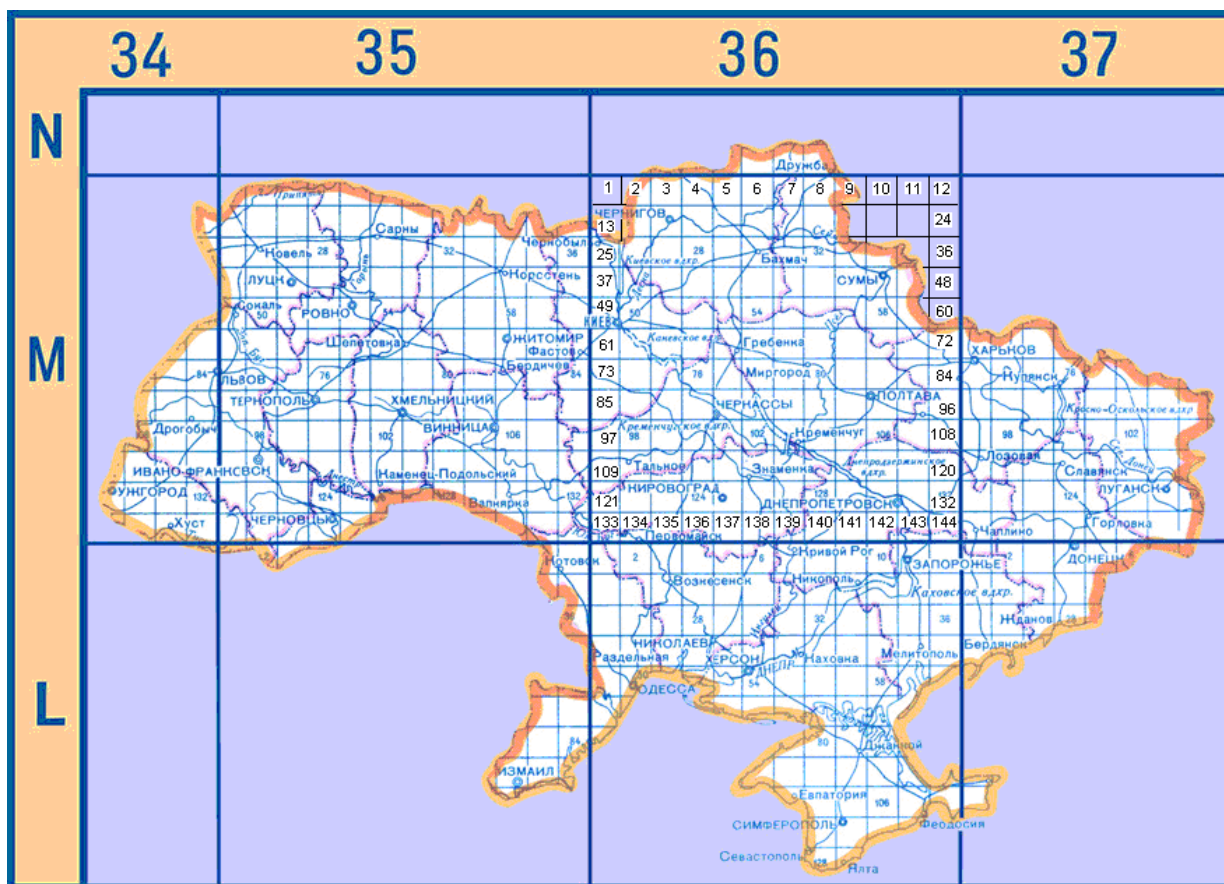


Рис 3.16. Номенклатура карт території України

Номенклатура листів карт більш крупних масштабів пов'язана з номенклатурою листів мільйонної карти. Так, лист карти масштабу **1:500000** (рис. 3.17) складає 1/4 листа мільйонної карти і позначається додаванням великої літери А, Б, В, Г до номенклатури листа мільйонної карти, наприклад **N-37-Б**.

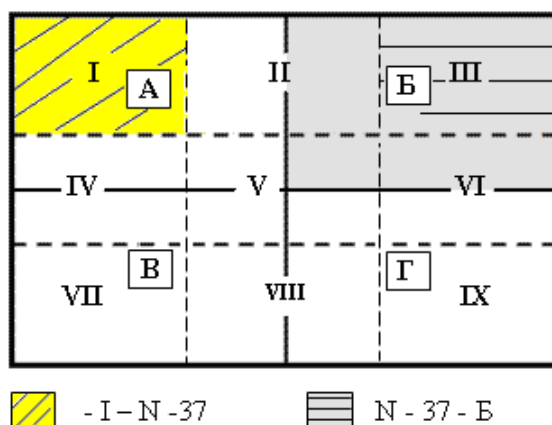


Рис.3.17. Номенклатура листів карт масштабів 1:500000 і 1:300000

Лист карти масштабу **1:300000** складає 1/9 листа мільйонної карти і позначається римськими цифрами від I до IX,

розташованими *перед* номенклатурою мільйонного листа, наприклад **I-N-37** (див. рис. 3.16).

Лист карти масштабу **1:200000** (рис. 3.18) складає 1/36 листа мільйонної карти і позначається римськими цифрами від I до XXXVI, розташованими *після* номенклатури мільйонного листа, наприклад **N-37-XV**.

N - 37

I	II	III	IV	V	VI
VII					XII
XIII		XV			XVIII
XIX					XXIV
XXV					XXX
XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV	XXXV	XXXVI

XV - N - 37 - XV

Рис.3.18. Номенклатура листів карт масштабів 1:200000

Лист карти масштабу **1:100000** (рис. 3.19) складає 1/144 листа мільйонної карти і позначається арабськими цифрами від 1 до 144, розташованими *після* номенклатури мільйонного листа, наприклад **N-37-143**.

N - 37

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13											24
25											36
37											48
49											60
61											72
73											84
85											96
97											108
109											120
121											132
133											144

143 - N - 37 - 143

Рис.3.19. Номенклатура листів карт масштабу 1:100000

Номенклатура листів карт більш крупних розмірів будується на основі листів карти масштабу 1:100000, подібно тому, як будувалися

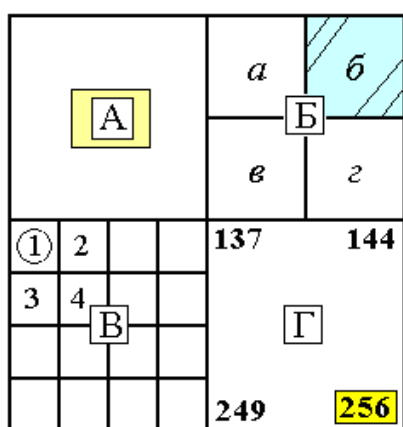
номенклатури розглянутих вище карт на основі листа мільйонної карти.

Так, лист карти масштабу **1:50000** складає 1/4 листа карти масштабу 1: 100000 і позначається додаванням великої літери А, Б, В, Г до номенклатури листа карти стотисячного масштабу (рис.3.20-а), наприклад **N-37-144-A**.

Лист карти масштабу 1:50000 містить 4 листи карти масштабу **1:25000**, які позначаються додаванням малих літер а, б, в, г до номенклатури листа карти п'ятдесятитисячного масштабу (рис.3.20-а), наприклад **N-37-144-Б-б**.

Лист карти масштабу **1:25000** містить 4 листи карти масштабу 1:10000, які позначаються додаванням арабських цифр 1, 2, 3, 4 до номенклатури листа карти двадцятип'ятитисячного масштабу (див. рис.3.20-а), наприклад **N-37-144-В-а-1**.

Лист карти масштабу 1:10000 містить 256 листів карти масштабу **1:50000**, які позначаються додаванням арабських цифр від 1 до 256 до номенклатури листа карти стотисячного масштабу (див. рис. 3.20-а), наприклад **N-37-144-(256)**.



- A** - N - 37 - 144 - A
б - N - 37 - 144 - Б - б
1 - N - 37 - 144 - В - а - 1
256 - N - 37 - 144 - (256)

а)



- а** - N - 37 - 144 - (256 - а)

б)

Рис.3.20. Номенклатура карт крупних масштабів а) – 1:50000;

б) – 1:25000

Номенклатура листа карти масштабу **1:2000** утворюється на основі розподілу листа карти 1:5000 на 9 частин. Кожний лист позначається шляхом додавання рядкових букв російського алфавіту *а, б, в, г, д, е, ж, з, и*, до номенклатури п'ятитисячного масштабу (рис. 3.20-б), наприклад *N-37-144-(256-а)*.

Номенклатура для повного списку масштабів карт дана в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Розграфка і номенклатура топографічних карт

Масштаб	Розміри листів		Середня площа листа на широті 54° (км ²)	Кількість листів в одному листі карти М 1:1000000	Номенклатура
	уздовж широти	уздовж довготи			
1:1000000	4°	6°	175104	1	N-38
1:500000	2°	3°	43776	4	N-38-Г (від А до Г)
1:200000	40'	1°	4864	36	N-38-XXXVI
1:100000	20'	30'	1216	144	N-38-144 (1÷144)
1:50000	10'	15'	306	576	N-38-144-Г (А÷Г)
1:25000	5'	7'30"	76	2304	N-38-144-Г-г
1:10000	2'30"	3'45"	19	9216	N-38-144-Г-г-4
1:5000	1'15"	1'52.5"	4.75	256 в 1:100000	N-38-144-Г-(256)
1:2000	25"	37.5"	0.57	9 в 1:5000	N-38-144-Г-(256-и)

У колонці "Номенклатура" показано позначення останнього листа даного масштабу всередині листа М 1:1000000. В деяких випадках для зручності користування картами розграфка дається з більш менш значними перекриттями листів.

Наприклад, морські навігаційні карти перекриваються на величину до 10 см – це зроблено для зручності прокладки курсу судна на суміжних листах.

У проекції Гауса–Крюгера поверхня еліпсоїда на площині відображається уздовж меридіанних зон, ширина яких дорівнює 6° (для карт масштабів 1:500000 ÷ 1:10000) і 3° (для карт масштабів 1:5000 ÷ 1:2000).

На широті від 60° до 76° листи здвоюють, вони мають розміри уздовж паралелей 12°, вище 76° листи зчетверяють, їх протяжність уздовж паралелей – 24°.

3.4.2. Атрибутивний опис

Одних координатних даних недостатньо для опису картографічної або складної графічної інформації. Картографічні об'єкти, окрім метричної, мають деяку властиву їм описову інформацію (назви політичних одиниць, міст, річок, тощо). Характеристики об'єктів, які входять до складу цієї інформації, називають **атрибутами**. Сукупність можливих атрибутів визначає клас атрибутивних моделей ГІС.

Раніше наголошувалося, що атрибутивні дані описують тематичні і часові характеристики.

Таблиця, що містить атрибути об'єктів, називається таблицею атрибутів.

Атрибути, відповідні тематичній формі даних і визначаючі різні ознаки об'єктів, також зберігаються в таблицях. Кожному об'єкту відповідає рядок таблиці, кожній тематичній ознаці - стовпець таблиці. Кожний елемент таблиці відображає значення певної ознаки для певного об'єкту.

Часова характеристика може відображатися декількома способами:

- шляхом вказівки часового періоду існування об'єктів;
- шляхом співвідношення інформації з певними моментами часу;
- шляхом вказівки швидкості руху об'єктів.

Залежно від способу відображення часової характеристики вона може розміщуватися в одній таблиці або в декількох таблицях атрибутів даного об'єкту для різних часових етапів.

Вживання атрибутів дозволяє здійснювати аналіз об'єктів бази даних з використанням стандартних форм запитів і різного роду фільтрів, а також виразів математичної логіки. Останнє ефективне при тематичному картографуванні.

Крім того, за допомогою атрибутів можна типізувати дані і упорядковувати опис для широкого набору некоординатних даних.

Таким чином, атрибутивний опис доповнює координатний, спільно з ним утворює повний опис моделей ГІС і вирішує задачі типізації початкових даних, що спрощує процеси класифікації і обробки.

Атрибутами можуть бути :

- *символи* (назви);
- *числа* (статистична інформація, код об'єкту);
- *графічні ознаки* (колір, малюнок, заповнення контурів).

Числові значення в ГІС можуть відноситися як до координатних даних, так і до атрибутивних. Для пояснення цього нагадаємо, що основною формою представлення атрибутивних даних в БД є таблиця, а в таблиці можуть зберігатися як координати об'єктів (координатні дані), так і описові характеристики (атрибутивні дані).

3.4.3. Питання точності координатних і атрибутивних даних

Використання будь-якої інформації допустиме, якщо вона задовольняє певним критеріям і стандартам. Одним з критеріїв застосовності просторово-часових даних в системах ГІС є ***точність*** - близькість результатів, розрахунків або оцінок до істинних значень (або значень, прийнятих за істинні).

Розглянемо декілька показників точності в ГІС: *точність обчислення, точність вимірювання, точність представлення.*

Точність обчислення визначається кількістю значущих цифр після коми.

Точність вимірювання - кількістю значущих цифр при вимірюваннях.

Точність представлення - кількістю розрядів, що описують координатні дані.

Точність обчислень і вимірювань не адекватна точності представлення. Велика кількість значущих цифр не завжди гарантує точність обчислень чи вимірювань.

Точність обчислення в ГІС велика, природно вона набагато вище, ніж точність самих даних. Більш того, набір спеціальних методів і алгоритмів у ряді випадків дозволяє підвищити точність первинних вимірювань.

Точність входить в комплекс даних, що визначає важливий показник - *якість даних*.

На сьогоднішній день тільки в США розроблені національні стандарти для цифрових картографічних даних, які застосовуються при оцінці точності цифрових даних.

Стандарт виділяє декілька компонентів якості даних:

- позиційну точність;
- точність атрибутів;
- логічну несуперечність;
- повноту;
- походження.

Позиційна точність виражається ступенем відхилення даних ГІС про місцезнаходження від істинного розташування об'єкту на місцевості. Звичайно точність карт приблизно визначається товщиною лінії, або 0,4 мм. Це відповідає 10 м в масштабі 1 : 25000.

Для перевірки позиційної точності використовують незалежні більш точні джерела, наприклад карту більш крупного масштабу, систему глобального позиціонування (GPS) та ін.

Можна на основі відомого в статистиці правила "перенесення помилок" оцінити точність, знаючи погрішності, що вносяться різними джерелами. Наприклад, при створенні цифрової моделі мали місце наступні погрішності: 1 мм у вихідному матеріалі, 0,4 мм на карті, призначеній для оцифровки, 0,1 мм при оцифровці.

При незалежній комбінації джерел помилок загальну погрішність Δ можна оцінити, підсумовуючи квадрати окремих погрішностей і обчислюючи квадратний корінь з суми:

$$\Delta = \sqrt{1^2 + 0,4^2 + 0,1^2} = 1,08 \text{ (мм)}.$$

Точність атрибутів визначається близькістю значень атрибуту до його істинної величини. Атрибути можуть з часом мінятися досить часто в порівнянні з координатними даними.

Залежно від типів даних точність атрибутів може вимірюватись різними способами. Для безперервних атрибутів (поверхонь), наприклад в полігонах Тіссена, точність виражається як погрішність вимірювань. Для атрибутів категорій об'єктів, наприклад класифікованих полігонів, точність залежить від того, чи є категорії відповідними, достатньо докладними і визначеними, і від того, яка ймовірність наявності в даних грубих помилок.

Точність атрибуту може бути різною в різних частинах карти, тому корисніше розраховувати просторову варіацію ймовірності помилки в класифікації, ніж користуватися узагальненими статистичними показниками.

Поняття *логічної несуперечності* пов'язано з несуперечністю даних в базах даних.

У середовищі ГІС це поняття розповсюджується на внутрішню несуперечність структур даних і внутрішню топологічну несуперечність векторних даних. Зокрема, це визначає такі вимоги, як замкнутість полігонів, унікальність ідентифікатора полігону, наявність або відсутність вузлів на перетинах дуг.

Поняття *повноти* (достатності) даних пов'язане із ступенем обхвату даними множини відповідних об'єктів. Залежно від правил відбору, генералізації і масштабу визначають число відповідних об'єктів для повного опису ситуації, картографічної композиції, явища, тощо.

Дещо специфічний показник *походження* включає відомості про джерела даних і операції зі створення бази даних, про методи кодування даних, час збирання даних, метод обробки даних, точність результатів обчислень, тощо.

3.5. Цифрові моделі місцевості

Розвиток автоматизованих методів обробки просторової інформації привів до появи нового напрямку в моделюванні - *цифрового моделювання*.

Основний елемент цифрового моделювання - **цифрова модель місцевості** (ЦММ), яка може бути одержана за допомогою різних технологій.

На відміну від всіх розглянутих раніше моделей даних цифрові є їх формою представлення для обробки на ЕОМ. Наприклад, цифрова модель може мати у якості структурної основа ієрархічну, реляційну, мережну або комплексну модель.

3.5.1. Основні поняття. Методи побудови

Цифрові моделі можуть зберігатися в базах даних або незалежно у вигляді файлових структур. Найбільше розповсюдження цифрові моделі знайшли в ГІС, будівництві, архітектурі, транспорті.

У даний час використовують багато визначень ЦММ. Відмінність між ними обумовлена відмінністю початкових моделей і задач, для яких ці ЦММ створюються. Проте можна виділити

загальні ознаки ЦММ за допомогою методів *абстракції* для побудови структур моделей.

Метод побудови ЦММ на основі узагальнення

Структура ЦММ (рис. 3.21), побудована на основі *узагальнення*, тобто з використанням принципу "*цифрова модель є частина*", відображає чотири основні властивості моделі, які витікають з її визначення.



Рис.3.21. Структура ЦММ, побудованої на основі *узагальнення*

ЦММ – це комплексна модель місцевості, яка задовольняє чотирьом основним властивостям:

1. Як модель об'єкту конкретної предметної області вона повинна містити спеціальну інформацію про дану предметну область: елементи координатного і атрибутивного опису, що характеризують як саму предметну область, так і індивідуальні властивості модельованих об'єктів.

2. Як модель взагалі ЦММ повинна бути визначена на відомому класі моделей, тобто вона повинна мати повністю визначену структуру і в своїй основі мати одну з базових моделей даних. З цієї властивості випливає, що ЦММ повинна володіти загальними властивостями безвідносно до предметної області. Отже, логічна структура ЦММ, з одного боку, повинна мати індивідуальні властивості об'єктів, з іншого - не вступати в суперечність з існуючими методами опису і використання моделей даних.

3. ЦММ як модель цифрова повинна бути оптимально організована і зручна при роботі на ЕОМ. Це означає, що для повної реалізації моделі повинна бути визначена її фізична структура.

4. Як елемент бази даних ЦММ повинна годитися для моделювання, багатократного використання, аналізу і розв'язання

різних задач. Звідси витікає, що ЦММ повинна містити додаткову інформацію для її багатократного використання. Це може бути реалізовано шляхом організації баз даних для зберігання ЦММ.

Така організація передбачає створення БД не як сховища або архіву одиночних ЦММ, а як проведення додаткових досліджень для виявлення класу моделей, до якого належить ЦММ і формування БД для класів і типів цифрових моделей. Крім того, обов'язковим є визначення і встановлення зв'язків між різними ЦММ одного або різних класів.

*Узагальнений опис цифрових моделей місцевості повинен виконуватися на рівні **типів***, тобто для цього необхідні попередній аналіз і подальша максимальна типізація просторових об'єктів.

*Індивідуальні властивості конкретного об'єкту повинні виражатися на рівні **знаків***. Таке поєднання індивідуального і узагальненого опису в теорії моделей даних відоме під назвою **класифікація**.

Отже, *для повного створення ЦММ повинна бути заздалегідь розроблена система класифікації або деякий класифікатор*.

Метод побудови ЦММ на основі агрегації

Метод побудови моделей даних на основі агрегації доповнює метод узагальнення. Схема агрегативної побудови ЦММ (рис. 3.22), як і опис ЦММ на основі узагальнення (рис.3.21), виконана у вигляді Е-дерева (ієрархічна модель).

Агрегативна модель дає наочне уявлення про те, що ЦММ належить до класу загальних цифрових моделей і підкласу цифрових моделей геоінформаційних об'єктів. Метод покрокової деталізації дозволяє виділяти частини і елементи ЦММ.

У автоматизованих системах просторової обробки даних є декілька основних типів цифрових моделей: **цифрова модель місцевості**, **цифрова модель об'єкту** (ЦМО), **цифрова модель карти** (ЦМК).

У агрегативній моделі ЦМК і ЦМО є "породженими" або "гілками". Об'єкти більш низьких рівнів, наприклад "цифрова модель рельєфу", "плани", одержують шляхом покрокової

деталізації. ЦМО виділена в окремий тип, оскільки при розв'язанні ряду задач в ГІС і САПР вона використовується незалежно.

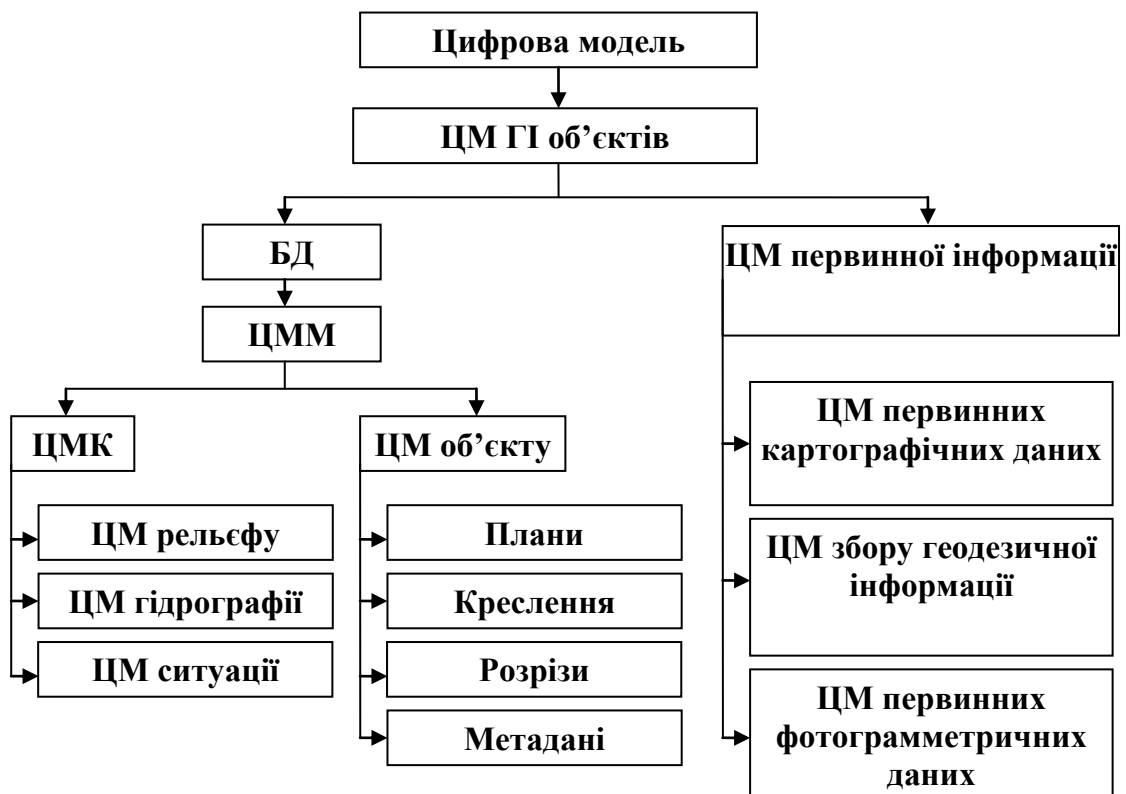


Рис.3.22. Схема агрегативної побудови ЦММ

Між ЦММ і ЦМК існує різниця: **ЦММ визначає модель бази даних, а ЦМК - модель представлення даних, тобто представлення ЦММ.**

Цифрову карту можна визначити як цифрову модель геоінформаційної системи, представлену у вигляді композиції з одного або декількох шарів. На цифровій карті фіксуються просторові об'єкти, зв'язки і відносини між ними, а також призначені для користувача ідентифікатори просторових об'єктів, що забезпечують зв'язок з їх атрибутивними даними.

Атрибутивні дані об'єктів зберігаються у вигляді таблиць, кожний запис в яких співвідноситься з певним просторовим об'єктом цифрової карти через призначений для користувача ідентифікатор, вказаний і в записі і на цифровій карті.

Окрім атрибутивного опису, змістовна визначеність об'єктів фіксується у вигляді конкретних тематичних шарів згідно прийнятій схемі виділення на початковій карті.

Просторова визначеність об'єктів на цифровій карті фіксується у відповідному виділенні шарів цифрових карт за типами просторових об'єктів (полігони, лінії і точки).

У контексті даної концепції **цифрова модель карти є відображенням цифрової моделі місцевості за допомогою засобів комп'ютерної візуалізації.**

ЦМК можна визначити як підмножину ЦММ, сформовану для візуального відображення просторово-часових даних. Слід підкреслити, що ЦММ і ЦМК є дискретними моделями. Але в процесі відображення ЦМК перетвориться в аналогову модель - аналогову карту.

Як показує досвід і системний аналіз, узагальнена геоінформаційна система має три технологічні рівні обробки даних: **збір, обробка і зберігання, представлення**. Відповідно до цього, поняття цифрової моделі може бути інтерпретовано для різних рівнів.

При зборі первинної інформації одержують різні первинні цифрові моделі (цифрова модель первинних даних), які є сукупністю точкових, параметричних і символічних множин. По суті, це набори даних, які, не будучи повною цифровою моделлю, служать основою її формування. Вони можуть бути одержані за допомогою різних технологій і засобів, характеризуються великим розкидом форматів і структур даних, в цілому *не є якоюсь уніфікованою інформаційною основою*.

На рівні обробки і зберігання ці різноманітні набори цифрових даних перетворюються в *уніфіковані набори і структури* відповідно до вимог зберігання в базі даних і стають елементами єдиної інформаційної моделі (інформаційної основи).

Проте тут ми маємо не саму цифрову модель, а лише початкові (надмірні) дані для її створення. Простіше кажучи, *на цьому рівні вся початкова інформація уніфікується, реструктуризується і розміщується в таблиці бази даних*.

На рівні представлення відбувається остаточне створення цифрової моделі місцевості відповідно до вимог на проектування (або побудови) ЦММ на основі інформації, збереженої в базі даних.

На цьому рівні визначають зовнішні і внутрішні ключі таблиць, встановлюють зв'язки між таблицями, визначають

метадані. Початкова уніфікована інформаційна основа перетворюється на систему.

У загальному вигляді ЦММ може бути визначена як сукупність множин метричної, семантичної, параметричної інформації і класу операцій перетворення над цими множинами.

Подальші деталізація і квантифікація визначених множин на структурну, топологічну, таксонометричну та інші види не представляються доцільними з огляду на те, що вони не міняють якісно опису ЦММ і класу її перетворень.

3.5.2. Характеристики ЦММ

Для опису властивостей ЦМ розглянемо схему (рис. 3.23), Е-дерево, яка представляє собою, добре знайому нам ієрархічну модель. Дана структура не претендує на повноту опису. Вона носить швидше інфологічний ніж даталогічний характер, і побудована з ціллю відображення основних і допоміжних властивостей і характеристик.

Цифрові моделі оперують різними типами інформації (рис.3.21).

Метрична інформація. Передає метричну (вимірювальну) характеристику об'єкту, тобто *координати, розміри*. Ця інформація відносно проста і однорідна за структурою, тому вона є *сильно типізованою*.

Метрична інформація в ГІС містить *координатні дані* і деякі (числові) *атрибутивні дані*.

Якісною відмінністю цифрових моделей, одержаних за реальними вимірюваннями, є точнісна характеристика моделі. Вона обумовлена помилками вимірювань і подальшими помилками обчислень при геометричному моделюванні. Цей параметр визначає застосовність цифрової моделі, зокрема, при отриманні графічних реалізацій в різних масштабах.

Атрибутивна інформація. Це інформація про властивості і зв'язки об'єктів. В ГІС вона включає *атрибутивні дані і метадані*. Вона може підрозділятися на семантичну, технологічну та інші види. Проте всі ці види інформації можна назвати семантичними, хоча з урахуванням термінології, що склалася в ГІС, більш правильно називати її атрибутивною.

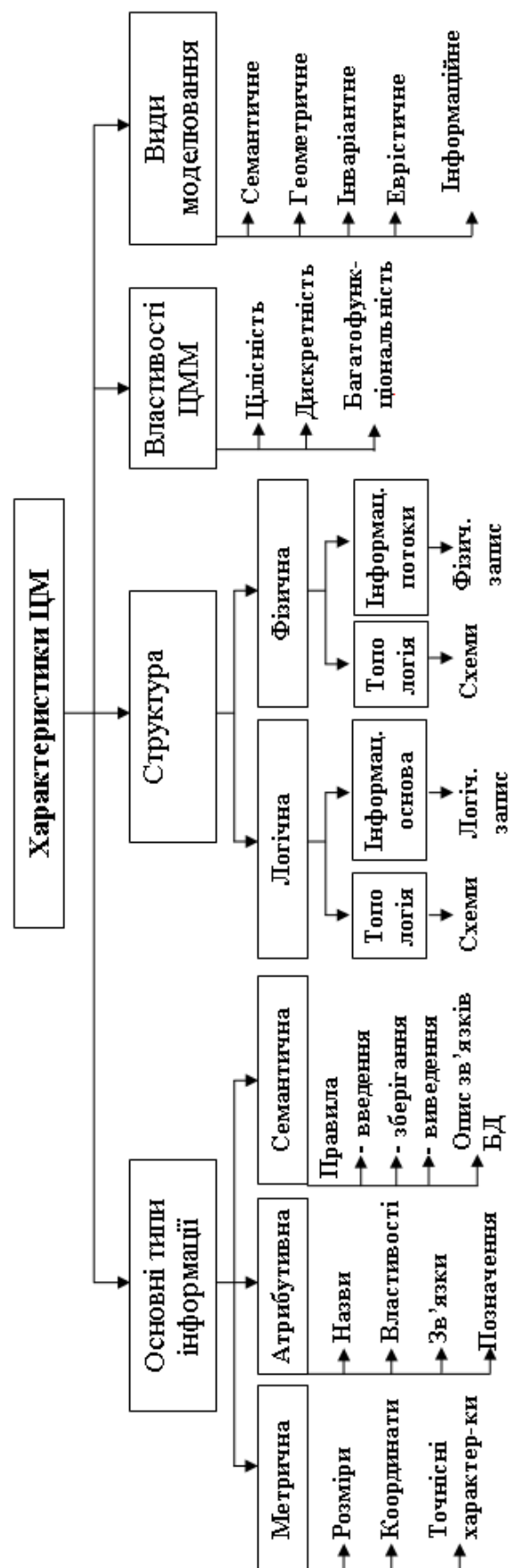


Рис.3.23. Схема основних характеристик (властивостей) цифрових моделей

Цей тип інформації визначає приналежність точок або об'єктів до певного класу або об'єкту (складний або простий об'єкт), описує властивості об'єктів і їх частин, задає взаємозв'язки і умови обробки, умови відтворення, тощо.

У загальному вигляді ця інформація неоднорідна, складна за структурою і є *слабо типізованою*. Тому для створення ЦММ потрібні аналіз, класифікація і типізація атрибутивної інформації. Ця інформація повинна бути розбита на більш дрібні групи, які мають достатнє число схожих ознак тобто вона типізується достатньою мірою для використання в базах даних.

Синтаксична інформація. Визначає послідовність роботи при коректуванні або оновленні ЦММ, правила побудови і представлення ЦММ. Ця інформація *типізована*. Перші два типи інформації (метрична і атрибутивна) визначаються логічною структурою ЦММ і не залежать від вибору СУБД. Через це їх можна назвати внутрішніми по відношенню до ЦММ.

Синтаксична інформація є зовнішньою по відношенню до ЦММ, залежить від вибору СУБД і технології обробки інформації через це знаходиться в тісному взаємозв'язку з фізичною структурою ЦММ.

Логічна і фізична структура ЦММ

Поняття логічної і фізичної структури ЦММ є розвитком і розширенням понять логічної і фізичної моделі даних.

Логічна структура ЦММ визначається як сукупність схем і логічних записів, що описують дану ЦММ. Така характеристика відноситься до описових.

Схеми, що визначають логічну структуру ЦММ, можуть бути різними залежно від призначення і принципів побудови (див. рис.3.20 і 3.21).

Логічна структура обумовлюється концепцією і методологією моделювання. Вона може включати схеми взаємозв'язків частин ЦММ в натурі, в базі даних, схеми взаємозв'язків властивостей ЦММ і схеми побудови ЦММ. Вона містить логічні записи, що становлять інформаційну основу. Елементом логічної структури ЦММ є *логічний запис*.

Фізична структура ЦММ визначається способом реалізації логічної ЦММ на конкретній технічній основі.

Зокрема, вона задається форматом запису даних, збережених на носіях інформації. Елементом фізичної структури ЦММ є *фізичний запис*. Топологічно цифрові моделі (схеми) залежно від їх призначення і області вживання можуть бути відображені за допомогою ієрархічних, мережних та інших базових моделей.

Вимога інваріантності моделювання обумовлює максимальну незалежність фізичної структури ЦММ від технологій і технічних засобів.

Властивості ЦММ

Цілісність. При обробці даних в БД недостатньо щоб ЦММ просто відображала об'єкти реального світу. Важливо, щоб таке відображення було однозначним і несуперечливим. В цьому випадку говорять, що ЦММ задовольняє умові цілісності. Цілісність ЦММ має два значення: *як об'єкту БД* і *як моделі реального об'єкту*.

Цілісність ЦММ *як об'єкту бази даних* визначається вимогами СУБД і відповідає поняттю цілісності інформації в БД. Для досягнення цілісності початкова інформація повинна бути типізованою і структуризованою. Така цілісність дозволяє здійснювати роботу з ЦММ як з елементом бази даних, спрямовувати до неї запити, проводити фільтрацію, одержувати довідки або звіти.

Цілісність ЦММ *як модель реального об'єкту* визначається вимогою створення проекту карти або картографічної композиції засобами ГІС. Для досягнення такої цілісності інформація повинна бути повною, актуальною і відповідати вимогам точності при створення даного проекту карти. Наприклад, інформація повинна включати не тільки зібрані на місцевості дані, але і бібліотеки умовних знаків, які зберігаються в БД незалежно від ЦММ. В даному випадку цілісність ЦММ як моделі об'єкту обумовлюється повнотою інформації БД.

Інший приклад: вимоги щодо точності, що дозволяють будувати карту масштабу 1:1000000, не відповідають вимогам щодо точності для масштабу 1:2000, через що метричні дані ЦММ

дрібного масштабу не придатні для побудови карт крупного масштабу.

Дискретність. ЦММ відноситься до класу дискретних моделей. Це обумовлено необхідністю зберігання ЦММ як *об'єкту дискретної бази даних*. Геометрична частина ЦММ може містити окремі точки поверхні об'єктів. Проте ЦММ дозволяє будувати безперервні лінії і поверхні, тобто одержувати аналогові моделі (аналогові карти), за рахунок сумісного використання метричної і семантичної інформації.

Акцентуємо на суперечності, що полягає, з одного боку, в необхідності виділення більшої інформативності моделі, що збільшує об'єм моделі, з іншого - в необхідності мінімізації інформаційних об'ємів, обумовлених обмеженнями машинних носіїв інформації і вимогою максимальної швидкості обробки даних.

Багатофункціональність. ЦММ повинна легко адаптуватися для розв'язання різних задач. Графічне відображення ЦММ не повинне залежати від засобів відтворення графічної інформації. Наприклад, одна і та ж ЦММ може використовуватися для отримання карт масштабного ряду.

Для багатократного використання ЦММ потрібні додаткові дані: описувачі, класифікатори, нормативні дані, правила вживання, тощо. Звичайно їх називають *метаданими*. Вони зберігаються в словнику даних (data dictionary).

Види моделювання

Розглянемо роботу з цифровими моделями відповідно до трьох системних рівнів: ***збір і первинна обробка інформації, зберігання і оновлення, представлення*** (відображення).

При ***зборі інформації*** для побудови цифрових моделей використовуються автоматизовані засоби реєстрації і автоматизовані технології. Джерелами інформації служать карти, таблиці специфікації, геодезичні координати точок і об'єктів місцевості, координати точок на аерокосмічних і наземних фотознімках, дані, одержані відповідно до телевізійних чи/або радіолокаційних знімків, телеметричні дані, інформація, зібрана із

планів і карт, дані про допуски і погрішності, додаткова інформація текстового характеру.

Після збору первинних даних на рівні **зберігання і оновлення інформації** здійснюються уніфікація, корекція інформації, що містить помилки і доповнення до неї. Таким чином формується уніфікована сукупність даних, однакова для різних засобів і технологій збору, що дозволяє надалі застосовувати її для отримання креслень і планів не одного, а декількох суміжних масштабів.

На рівні **представлення ЦММ** відображається цифрова інформація у вигляді, зручному для користування. ЦММ може генеруватися з різних моделей. Візуальне представлення ЦММ реалізується на сучасних пристроях виведення інформації.

Можна виділити наступні види моделювання: **семантичне, інваріантне, геометричне, евристичне, інформаційне**. Вони проявляються на різних системних рівнях обробки інформації різною мірою.

Семантичне моделювання взаємозв'язане із задачами кодування і лінгвістичного забезпечення, тому воно більшою мірою використовується на рівні збору первинної інформації. Це обумовлено також великим об'ємом і різноманітністю вхідної інформації, складністю її структури, можливою наявністю помилок.

Чи більш різноманітна вхідна інформація за структурою і вмістом, чим менш вона уніфікована, тим більший об'єм семантичного моделювання застосовується в підсистемі збору.

Інваріантне моделювання засноване на роботі з повністю або частково уніфікованими даними. Цей вид моделювання припускає використання групових операцій, чим забезпечується підвищення продуктивності праці в порівнянні з індивідуальним моделюванням.

Інваріантність створює передумови для широкого вживання наборів програмно-технологічних засобів незалежно від конкретного виду (особливостей) модельованого об'єкту. Вона передбачає використання загальних властивостей модельованих об'єктів (властивостей типів або класів) безвідносно до технічних засобів і специфічних характеристик окремих об'єктів.

Цей вид моделювання забезпечує значне підвищення продуктивності обробки інформації, особливо при моделюванні (обробці) графічних об'єктів.

Проте реалізація такого підходу можлива лише за наявності структурно розділених графічних моделей, нижній рівень яких інваріантний (безвідносний) до особливостей моделі, а верхній містить індивідуальні властивості моделей. Іншими словами, *таке моделювання вимагає спеціалізованого програмного і лінгвістичного забезпечення*, що враховує властивості модельованих об'єктів і можливість їх структуризації на певні графічні примітиви.

Геометричне моделювання можна розглядати як різновид інваріантного, проте воно застосовується там, де потрібна обробка метричних даних.

Евристичне моделювання застосовується при врахуванні індивідуальних властивостей об'єктів на відеозображеннях і при розв'язання спеціальних нетипових задач. В основному воно реалізується при інтерактивній обробці.

Евристичне моделювання базується на реалізації спілкування користувача з ЕОМ за сценарієм, що враховує з одного боку, технологічні особливості програмного забезпечення, з іншого - особливості і досвід обробки даної категорії об'єктів.

Інформаційне моделювання пов'язану зі створенням і перетворенням різних форм інформації. Наприклад, графічної або текстової, у вигляд, який задає користувач. Воно ефективне тільки при попередній розробці інтегрованої інформаційної основи і використанні баз даних. В сучасних автоматизованих системах для відображення ЦММ застосовують автоматизовані системи документального забезпечення.

Слід зазначити, що всі види моделювання використовуються на всіх системних рівнях, але різною мірою.

Опис цифрової моделі динамічний. Він змінюється або доповнюється в міру появи нових задач, нових методів обробки і нових технічних засобів автоматизації проектування.

Таким чином:

1. Цифрове моделювання є основою організації, зберігання, оновлення і представлення просторово-часових даних в ГІС.

2. Цифрові моделі ГІС удосконалюються, з'являються нові, наприклад цифрова модель явища.

3. Особливість формування ЦММ в геоінформаційних технологіях полягає у створенні їх як структури бази даних.

4. Інформаційно ЦММ в системі ГІС повинна бути перевизначена по відношенню до моделі одиночного об'єкту. Вона повинна містити не тільки параметри об'єкту, але і властивості класу об'єктів, а також набір методів перетворення і побудови об'єктів цього класу.

Розділ 4. СИСТЕМА ГЛОБАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

До недавнього часу в різних системах управління (СУ) автомобільним рухом використовувалося, як правило, неавтоматизоване управління.

Основні функції управління рухом, режимами роботи двигуна, перевірка цілісності вантажу та інші здійснювалися водієм. Диспетчер тримав зв'язок з водієм по телефону або радіо (рис.4.1).

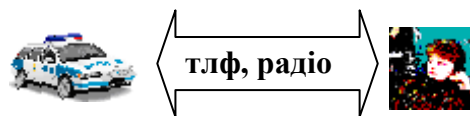


Рис.4.1. Зв'язок диспетчера із водієм

Розвиток інформаційних технологій, зокрема ГІС, методів і систем супутникового зв'язку, реалізація цифрових методів передачі даних створили перспективи для подальшого удосконалення і розширення можливостей СУ автомобільним транспортом.

На сьогоднішній день широке використання знаходять АСУ рухом автомобільного транспорту, які вирішують 2-і основні задачі:

1. Задача попередження наїзду на перешкоди і забезпечення безпеки руху;

2. Задача забезпечення проїзду автомобільного транспорту з однієї точки в іншу (задача навігації).

Супутникова навігація все частіше входить до складу АСУ автомобільним транспортом і є її фундаментальною частиною, оскільки забезпечує безперервність, надійність зв'язку і контролю в будь-якій точці земної кулі.

4.1. Введення в основи системи GPS

Система Глобального Позиціонування (GPS або Global Positioning System) є супутниковою і працює під управлінням Міністерства Оборони США. Система GPS використовується для визначення місцеположення об'єктів на всій поверхні Землі з дуже високою координатною точністю і часом, за допомогою декількох супутників, розташованих на проміжній орбіті навколо Землі. В США система GPS носить назву система **NAVSTAR**. Система є глобальною, всепогодною і забезпечує можливість отримання точних координат і часу 24 години на доба.

Попередниками системи GPS були системи *LORAN* і *OMEGA*, в яких використовувалися довгохвильові радіопередавачі. Радіоімпульс передавався від головної станції на другорядні. Затримка сигналу суворо контролювалася. Приймач порівнював затримку між отриманням і відправкою сигналу. По відстані і розраховувалося місцеположення об'єкту.

Першою супутниковою навігаційною системою (СНС) стала система "**Transit**" ("Транзит"), яка почала розроблятися ще в 1958 році в США. В 1959 році на орбіту був виведений перший навігаційний штучний супутник Землі, а в 1964 році вступила в експлуатацію система для забезпечення американських атомних ракетних підводних човнів. Для комерційної експлуатації система "Transit" була надана в 1967 році, причому кількість цивільних користувачів незабаром істотно перевищила число військових. До кінця 1975 року на кругових навколоземних орбітах (заввишки близько 1000 км) знаходилося шість навігаційних космічних апаратів (НКА). СНС працювала за принципом "ефекту Доплера". Супутники оберталися уздовж відомих орбіт і передавали сигнали на відомій частоті. Частота, на якій велася передача, відрізнялася від частоти, на якій працював прийом унаслідок руху супутника відносно приймача. Одержавши різницю в частоті і знаючи орбіту супутника, приймач міг визначити своє приблизне місцеположення. Супутник випромінював сигнал на двох частотах – $L_1=150$ і $L_2=400$ МГц, середньоквадратична погрішність визначення місця об'єкту на земній поверхні складала 100 метрів. У 2000 році система була виведена з експлуатації.

У СРСР (а потім і в Росії) була розроблена СНС “*Цикада*”. Ця система веде своє літочислення з 1967 року, коли був виведений на орбіту перший навігаційний супутник “Космос”. Повністю система введена в експлуатацію в 1979 році у складі чотирьох НКА, виведених на кругові орбіти заввишки 1000 км, нахилом 83° і рівномірним розподілом площин орбіти уздовж екватора. Система дозволяла спостерігачу кожні 1,5 - 2 години визначати координати свого місцезнаходження при тривалості навігаційного сеансу до 10 хвил. “Цикада” також використовувала доплерівський здвиг частоти сигналу передавача для визначення координат місця. Пізніше космічні апарати цієї системи були дооснащені апаратурою для виявлення терплячих біду об'єктів, обладнаних радіобуями, які випромінювали спеціальні сигнали. В даний час “Цикада” має обмежене застосування в навігації. Для визначення координат кораблів ВМФ СРСР використовувалася низькоорбітальна супутникова навігаційна система “Цикада-М”, яка має характеристики, близькі до системи “Цикада”.

Як працює система GPS

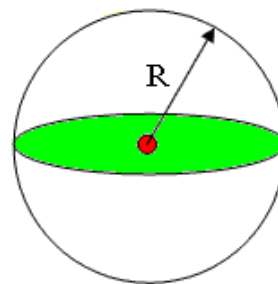
Супутники передають сигнал, в якому є інформація про місцезнаходження супутника і час передачі сигналу. За допомогою атомного годинника робота всього угруповання супутників чітко синхронізована. Приймач порівнює час передачі повідомлення і час його отримання, орієнтуючись на свій внутрішній годинник. Ці вимірювання порівнюються з сигналами від декількох супутників і за їх результатами визначається точне місцеположення приймача в режимі реального часу. При кожному вимірюванні приймач як би поміщається в сферичну комірку за виміряними дистанціями до супутника. Оскільки супутник змінює своє місцеположення до того, як приймач одержить сигнал, який у свою чергу сповільнюється при русі крізь іоносферу, проводяться комплексні розрахунки. Базовий розрахунок проводиться для пошуку найкоротшої лінії чотирьох сферичних комірок. Постійно на орбіті близько 20000 км від Землі з ухилом в 55° знаходяться від 24 до 27 супутників, оскільки старі весь час замінюються на нові.

Функціонування системи GPS можна розбити на п'ять основних підпунктів:

1. **Супутникова трилатерація** – визначення наявності об'єкту на поверхні Землі (основа системи);
2. **Супутникова дальнометрія** – вимірювання відстаней до супутників;
3. **Точна часова прив'язка** – навіщо потрібно погоджувати годинник в приймачі і на супутнику і для чого потрібен 4-й космічний апарат;
4. **Розміщення супутників** – визначення точного місцезнаходження супутників в космосі (угрупкування супутників);
5. **Корекція помилок** – врахування помилок, які вносяться затримками в тропосфері і іоносфері.

Визначення місцеположення одним супутником.

Точні координати точки на поверхні Землі можуть бути обчислені за вимірюваннями відстаней від групи супутників (якщо їх місцезнаходження в космосі відоме). В цьому випадку супутники є пунктами з відомими координатами. Припустимо, що відстань R від одного супутника відома і можна описати сферу заданого радіусу навколо нього (рис.4.2).



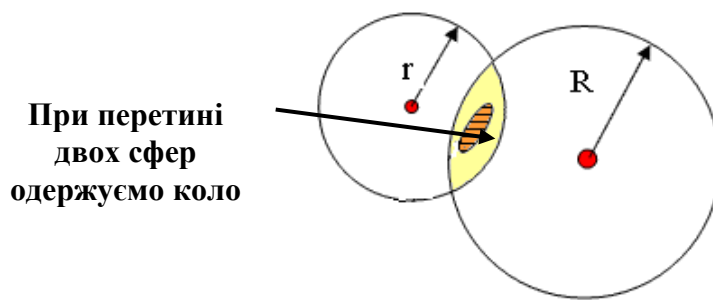
Одне вимірювання вказує
на наявність об'єкту на
поверхні сфери

Рис.4.2. Визначення наявності об'єкту на поверхні сфери

Одне вимірювання вказує про наявність об'єкту на поверхні сфери.

Визначення місцеположення двома і трьома супутниками.

Якщо відома також відстань і до другого супутника, то визначуване місцеположення буде знаходитись десь усередині кола, що задається перетином двох сфер (рис.4.3).



Друге вимірювання вказує на місцезнаходження об'єкту на перетині двох сфер

Рис.4.3. Визначення місцеположення об'єкту двома супутниками

Третій супутник визначає дві точки на колі (рис. 4.4).

Така система дозволяє тільки вибрати правильну точку, оскільки одна з точок завжди може бути відкинута, тому що вона має високу швидкість переміщення чи знаходиться над або під поверхнею Землі. Таким чином, знаючи відстань до трьох супутників, можна обчислити координати даної точки.

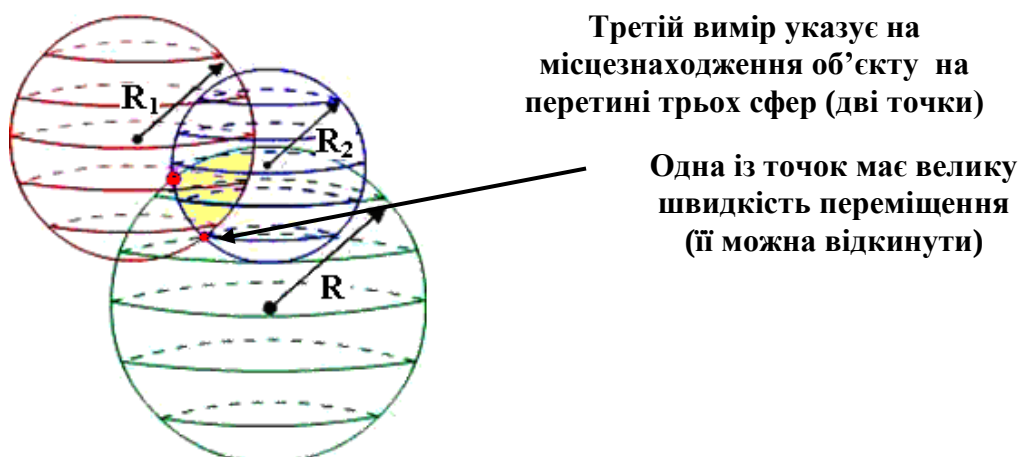


Рис.4.4. Визначення місцезнаходження об'єкту трьома супутниками

Визначення відстані до супутників

Відстань до супутників визначається за виміром часу проходження радіосигналу від космічного апарату до приймача ($\Delta t = t_c - t_n$) помноженим на швидкість світла ($Vc = 300000 \text{ км/с}$) – $R = Vc \cdot \Delta t$. Для того, щоб визначити час розповсюдження сигналу нам необхідно знати коли він покинув супутник.

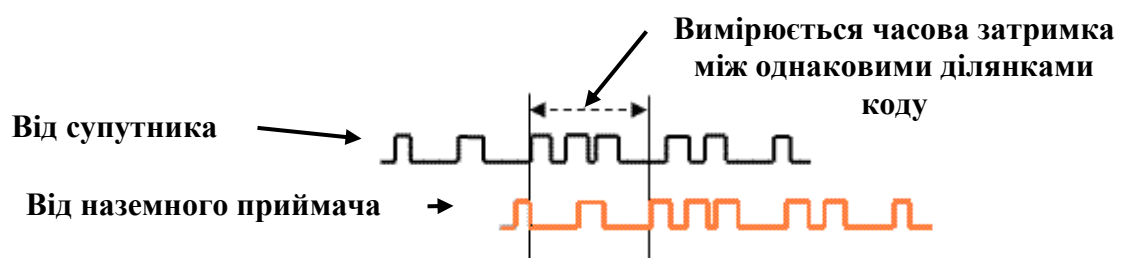
Для цього на супутнику і в приймачі одночасно генерується однаковий псевдовипадковий код.

Алгоритм визначення відстані до супутника представлений на рис.4.5.

Кожний супутник системи GPS передає два радіосигнали: на частоті $L_1=1575.42$ МГц і $L_2=1227.60$ МГц. Сигнал L_1 має два коди: «точний» *P-код* і «грубий» *C/A код*.

Приймач перевіряє вхідний сигнал із супутника і визначає коли він згенерував такий же код. Одержана різниця, помножена на швидкість світла (300000 км/с), дає шукане значення.

Використання коду дозволяє приймачу визначити часову затримку у будь-який час.



Як узнати коли сигнал покинув супутник ?

- ➡ Приймач і передавач (супутник) використовують один код
- ➡ Приймач і передавач (супутник) синхронізовані так, щоб вони генерували однаковий код одночасно
- ➡ Приймач приймає сигнал коду із супутника і визначає, коли такий же сигнал покинув передавач (супутник)

Рис.4.5. Визначення часу покидання сигналу

Точна часова прив'язка

Як видно із сказаного вище, обчислення напряму залежать від точності ходу годинника. Код повинен генеруватися на супутнику і приймачі в один і той же час. На супутниках встановлений атомний годинник, точність ходу якого близько однієї наносекунди. Встановлення такого годинника в кожний GPS приймач дуже дорого коштує і не вигідне, тому вимірювання від четвертого супутника використовуються для усунення помилок ходу годинника приймача.

Ці вимірювання можна використовувати для усунення помилок, які виникають, якщо годинники на супутнику і в приймачі не синхронізовані. Для наочності, ілюстрації приведені на рис.4.6 розглядають ситуацію на площині при використанні двох і трьох

супутників, тому що тільки три супутники необхідні для обчислення координат місцезнаходження об'єкту.

Якщо годинник на супутнику і в приймачі має однакову точність ходу, то точне місцезнаходження може бути знайдено за вимірюванням відстані до двох супутників.

Якщо одержані вимірювання від трьох супутників і всі годинники точні, то коло, описане радіус-вектором від третього супутника перетинатиметься як показано на ри.3.6.

Проте, якщо годинники в приймачі поспішають на 1 секунду, то картина буде наступна: при отриманні вимірювання від третього супутника, одержаний радіус-вектор не перетнеться з двома іншими як показано на рис.3.6.

Коли GPS приймач одержує серію вимірювань, які не перетинаються в одній точці, то комп'ютер в приймачі починає віднімати (або додавати) час методом послідовних ітерації до тих пір, поки не зведе всі вимірювання до однієї точки. Після цього обчислюється поправка і робиться відповідне порівняння.

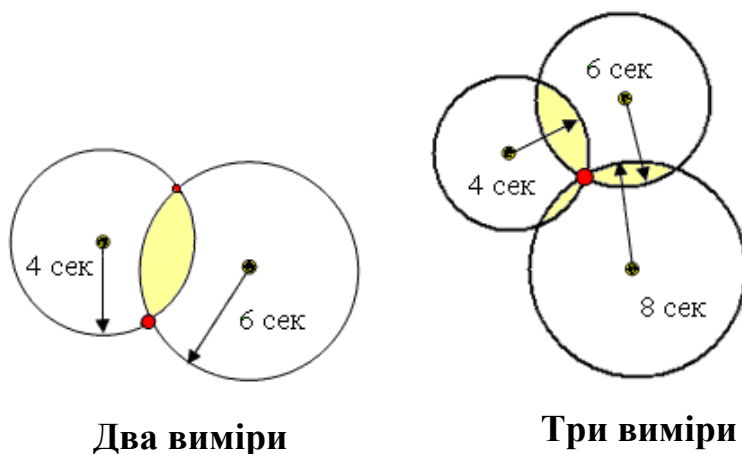


Рис.4.6. Вимірювання з точним годинником на площині

Якщо потрібне третє вимірювання, то необхідний четвертий супутник для усунення помилок ходу годинника в приймачі.

Таким чином, **при роботі необхідно мати мінімум чотири супутники, щоб визначити тривимірні координати об'єкту.**

У СРСР (Росія продовжила надалі) на початку 80-х років була створена аналогічна глобальна навігаційна супутникова система **ГЛОНАСС**, призначена для визначення місцеположення, швидкості руху, а також точного часу морських, повітряних, сухопутних та інших видів об'єктів.

Програму ГЛОНАСС планували запустити для російських споживачів до кінця 2007 року, а з 2009 вона стала глобальною.

Склад систем NAVSTAR і ГЛОНАСС. Системи NAVSTAR і ГЛОНАСС складаються з трьох сегментів кожна (рис.4.7): **сегмент управління і контролю**; **космічний сегмент** або сузір'я супутників; **сегмент користувача**, що включає приймачі різних типів (фазові, лінійні).

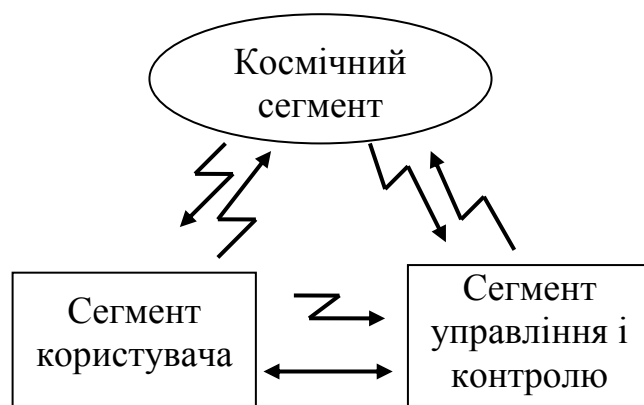


Рис.4.7. Структура системи GPS

Сегмент управління і контролю включає *головну станцію управління і контролю* (в ГЛОНАСС- Центр управління системою), *станцій стеження*, розподілених по всій поверхні Землі, і *наземні станції контролю*.

Основними задачами цього сегменту є: визначення ефемерид супутників і поправок їх годинників, прогноз орбіт супутників, завантаження навігаційного повідомлення в пам'ять бортових комп'ютерів супутників. Крім того, є і інші задачі, наприклад, нагляд за підготовкою супутників до запуску, забезпечення запуску і тому подібне.

Космічний сегмент складається із супутників, які здійснюють передачу сигналів GPS.

Кожний супутник здійснює два витки довкола Землі в день на орбіті близько 20000 км від Землі. На кожному супутнику розташований атомний годинник і вони постійно передають спеціальні сигнали з часом за своїми годинниками, а також персональну інформацію про своє положення, щоб вони могли бути виявлені наземними станціями.

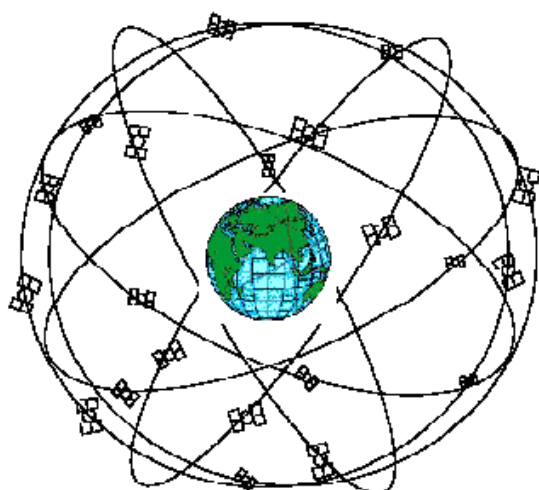
У таблиці 4.1 приведена коротка порівняльна характеристика систем NAVSTAR і ГЛОНАСС.

Угрупування систем NAVSTAR і ГЛОНАСС (рис.4.8) складається із **24 постійно діючих супутників** із орбітальним періодом 12 годин на висоті близько 20200 км від поверхні Землі (ГЛОНАСС - період 11 годин 15 хвилин, висота 19100 км.). В шести різних площинах, які мають нахил до екватора в 55° , розташовано по 4 супутники (в ГЛОНАСС відповідно 3 площини по 8 супутників з нахил до екватора $64,8^\circ$). Вказана висота необхідна для забезпечення стабільності орбітального руху супутників і зменшення фактору впливу опору атмосфери.

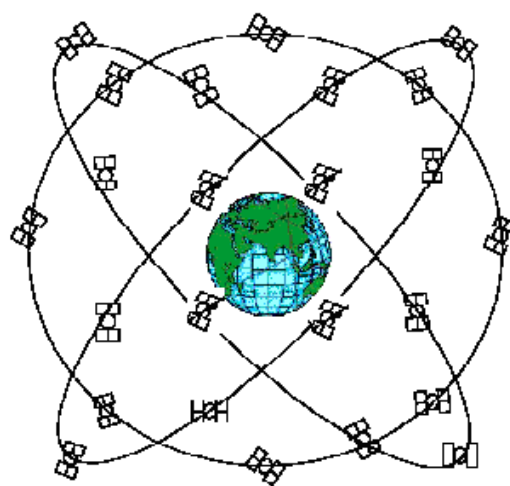
Таблиця 4.1.

Порівняльна характеристика систем NAVSTAR і ГЛОНАСС

Система	К-ть КА	Кількість орбітальних площин / супутників	Рознесення орбітальних площин, град.	Нахил орбіти до екватора	Висота КА, км.	Час обороту КА
NAVSTAR	24	6/4	60°	55°	20200	12 годин
ГЛОНАСС	24	3/8	120°	$64,8^\circ$	19100	11 годин 15 хвил.



NAVSTAR



ГЛОНАСС

Рис.4.8. Космічний сегмент систем NAVSTAR і ГЛОНАСС

Для системи ГЛОНАСС характерний повтор орбіт супутниками кожні 8 днів. Оскільки в кожній площині розташовано

8 супутників, кожний з них займає місце попереднього через декілька днів. GPS такий принцип не використовує.

Європейським Союзом і Європейським Аерокосмічним Агентством спільно 26 травня 2003 року було ухвалено рішення про початок розвитку європейської системи **GALILEO** (“Галілео”). Система призначена тільки для цивільного використання, на відміну від системи GPS, яка належить військовим США, і вони залишають за собою право частково загрубляти сигнал або зовсім його відключати коли їм заманеться.

Країни Європейського союзу почали розгортання цивільної глобальної СНС “Галілео”, що базується на своїх власних супутниках. Передбачається, що глобальна СНС “Галілео” повинна:

- бути незалежною від GPS, але взаємодіяти з нею;
- знаходитись під управлінням європейського суспільства (США намагаються встановити повний або частковий контроль над цією системою);
- більш точною і доступною, здатною швидко знаходити і оповіщати про несправність елементів системи;
- рентабельною;
- відкритою для участі інших партнерів, зокрема України.

Очікується, що “Галілео” увійде до ладу в 2013 році, коли на орбіту будуть виведені всі **30** запланованих супутників (27 операційних і 3 резервних). Космічний сегмент буде доповнений наземною інфраструктурою, що включає два центри управління і глобальну мережу передаючих і приймаючих станцій.

Для систематичного збору даних вимірювань зусиллями Європейського Аерокосмічного Агентства була створена всесвітня мережа наземних станцій стеження обладнаних приймачами.

Планується, що «Галілео» передаватиме один загальнодоступний сигнал OAS (Open Access Service - служба відкритого доступу) і один або два сигнали з контрольованим доступом CAS (Controlled Access Service - служба контрольованого доступу). Сигнал OAS повинен бути еквівалентний GPS і забезпечувати визначення місця з точністю до 3-4 м. Ця інформація залишиться безкоштовною до тих пір, поки зберігатиметься безкоштовне використання GPS.

Проте розвитку системи “Галілео” заважають розбіжності європейських країн у фінансуванні програми. Наприклад, Франція активно підтримує її розвиток, що означає для цієї країни незалежність від технологій США. Інші країни вважають, що вигідніше використовувати безкоштовно систему GPS. Початкові капіталовкладення в систему “Галілео” налічують близько 1,1 мільярдів Євро. Повністю програма повинна обійтися Європейським країнам в 3 мільярди Євро, включаючи вартість інфраструктури на Землі. Дві третини капіталовкладень будуть зроблені приватними компаніями і інвесторами, а одна третина Європейським Союзом і Європейським Аерокосмічним Агентством. Планується, що система буде безкоштовна для всіх, але точні сигнали передаватимуться за окрему плату.

Крім країн ЄС досягнуті домовленості на участь в проекті з державами - Китай, Ізраїль, Південна Корея, Україна і Росія. Крім того, ведуться переговори з представниками Аргентини, Австралії, Бразилії, Чилі, Індії, Малайзії.

Сегмент користувача призначений для визначення координат і складових вектора швидкості споживача з використанням навігаційного поля систем. Апаратура військових і прирівняних до них користувачів дозволяє повністю реалізувати функціональні можливості систем і одержати максимальну точність. Цивільне устаткування має деякі обмеження і дещо “урізані” можливості.

Схема роботи GPS/GSM системи Axiom.Logistics приведена на рис.4.9.

4.2. Принципи роботи GPS – приймачів

Вибір устаткування напряму залежить від точності, яку необхідно одержати.

Всі GPS приймачі можна розділити на дві категорії ґрунтуючись на тому, як вони обробляють GPS сигнал:

- **С/А кодові приймачі** (цивільного вживання), які використовують інформацію, що міститься в супутниковому сигналі для обчислення місцеположення об'єкту;
- **фазові приймачі**, які використовують сам радіосигнал для обчислення місцеположення об'єкту.

Ці два методи обробки не є взаємно виключними. Деякі С/А кодові приймачі можуть виконувати обмежену обробку фази, і всі фазові приймачі можуть обчислювати положення, засновані на кодових вимірюваннях. Без диференціальної обробки, обидва типи приймачів можуть обчислювати тільки положення, засновані на кодових вимірюваннях. Якщо Міністерство Оборони США не запускає в дію програму виборчого доступу (Selective Availability або S/A), то точність визначення місцеположення складає від 2-х до 5 метрів.

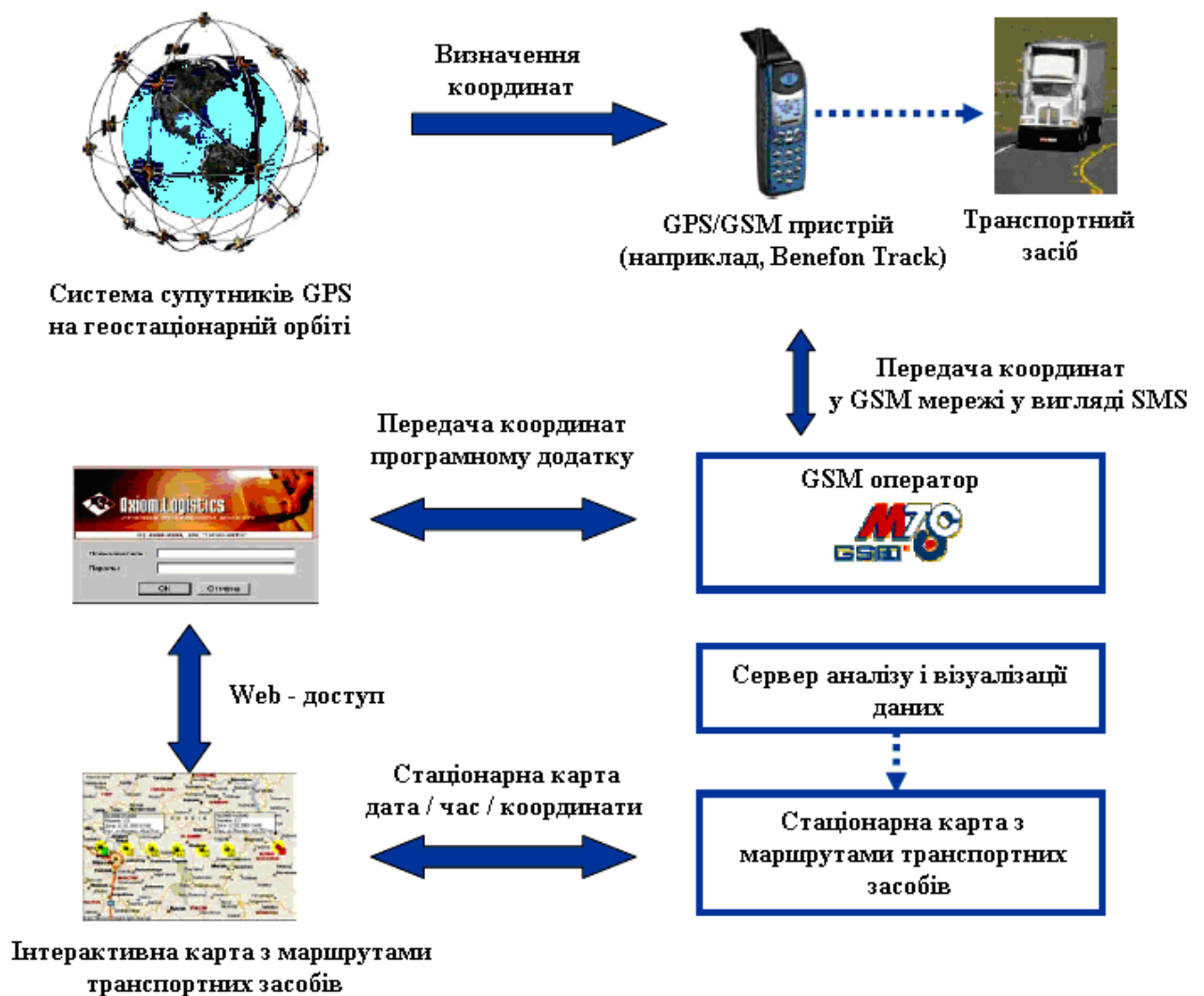


Рис.4.9. Схема роботи GPS/GSM системи Axiom.Logistics

С/А кодові приймачі

GPS приймачі, які застосовуються для картографування і ГІС додатків використовують метод вимірювання сигналу заснованого

на C/A (Coarse/Acquisition) коді. Точність цих приймачів знаходиться в діапазоні від дециметрового до 5 метрів (з диференціальною корекцією).

Кодовим приймачам не потрібно здійснювати безперервне захоплення сигналу з супутників для обчислення місцеположення. Це дозволяє обладнанні працювати на територіях з сильною забудовою і в місцях з обмеженою видимістю, наприклад, під деревами.

Фазові приймачі

Фазові приймачі використовуються для зйомки території і розвитку геодезичних мереж і працюють з фазою несучого сигналу. Методи обробки фази несучого сигналу вимагають, щоб декілька приймачів працювало одночасно. Звичайно, ці приймачі мають точність до $1\text{см} \pm 1\text{мм}$ на 1 км відстані між ними. Цю відстань звичайно називають *довжиною базової лінії*. Фазові приймачі відрізняються більш жорсткими вимогами до обробки і збору даних. Якщо робота проводиться в кінематичному режимі, то приймачі повинні здійснювати безперервне захоплення сигналу, принаймні від 4-х супутників для обчислення місцеположення об'єкту. Фазові приймачі вимагають прямого проходження сигналу із супутника.

Кількість каналів

Як було сказано вище, для визначення точних просторових координат об'єкту необхідно, принаймні чотири GPS супутники.

Увага: GPS координати можуть бути одержані за вимірюваннями і з 3-х супутників, якщо відоме точне значення висоти. Проте, якщо висота (над еліпсоїдом WGS-84) відома неточно, то помилки у визначених планових координатах матимуть той же порядок, що і для висоти. Даний метод відомий як обчислення планових (2D) GPS координат. Планові (2D) GPS координати звичайно мають великі помилки через проблеми у визначенні точної висоти.

Одноканальним GPS приймачам доводиться здійснювати послідовно захоплення кожного GPS супутника. По цьому каналу здійснюється як стеження за супутниками, так і передача технічної інформації про стан супутника і системи в цілому.

Багатоканальні GPS приймачі використовують декілька каналів для стеження за декількома супутниками одночасно. Вони працюють більш ефективно, чим одноканальні приймачі. В ідеальних умовах, із стаціонарно розташованим С/А кодовим приймачем, коли немає ніяких перешкод, що закривають видимість супутників, багатопроменевого перевідбиття сигналу або інших чинників, які понижують точність, різниця практично буде непомітна. Проте в реальних умовах, коли приймач пересувається або сигнал від супутників може уриватися, приймачі з великим числом каналів працюватимуть краще. Тому необхідно мати, принаймні, 4-х канальний GPS приймач для виконання високоточних робіт з використанням фазових вимірювань. Це пов'язане з тим, що фазовому приймачу потрібен один канал на кожний супутник для виконання вимірювань.

Якщо GPS приймач використовується як базова станція, у край бажано, щоб відстежувався кожний видимий супутник. Тому, в даний час пропонуються для таких задач приймачі з 9 або 12 каналами. При використанні маски, що рекомендується, по куту підвищення, рідко можна зустріти місце, де одночасно спостерігається більше 9 супутників і ніколи, якщо більше 12 супутників.

Приймачі, що використовуються як пересувні, можуть відстежувати принаймні 8 супутників одночасно. Це більш ніж достатньо для більшості додатків. Під час руху або при визначенні координат нерухомих об'єктів на місцевості для обчислення місцеположення потрібно мінімум 4 супутники.

С/А і Р- кодові приймачі

GPS супутники передають два коди на одній і тій же несучій частоті. Приймачі для ГІС - додатків і картографування, подібно більшості цивільних GPS приймачів, використовують грубий С/А код. GPS супутники також передають точний код (Р - код). Більшість військових приймачів армії США і їх союзників використовує Р - код. Деякі цивільні приймачі для топографічної зйомки і створення опорних мереж можуть використовувати Р - код в доповненні до С/А коду.

P-код дещо більш точний, але використовується, як правило, військовими споживачами. Коли P-код зашифрований (так званий Y-код) армійські приймачі мають можливість розшифровки сигналу. Таке шифрування сигналу, також називається Anti-Spoofing (A/S) і застосовується, коли Міністерство Оборони США, вважає це необхідним для забезпечення безпеки США.

4.3. Протокол NMEA для обміну даними GPS

NMEA («National Marine Electronics Association») — повна назва «NMEA 0183» — текстовий протокол зв'язку морського (як правило, навігаційного) обладнання між собою. Став особливо популярний у зв'язку із розповсюдженням GPS приймачів, що використовують цей стандарт. (В даний час впроваджується стандарт «NMEA 2000»).

Якщо приймач має послідовний інтерфейс RS-232, узгоджений по напругах і швидкості передачі (звично 4800, 8, N, 1) із стандартним, то «спілкуватися» з таким приймачем можна, підключивши його до IBM PC-сумісного комп'ютера і користуючись якою-небудь термінальною програмою. В якості такої можна використовувати, наприклад, PuTTY або програму «HyperTerminal», що входить до складу ОС Windows.

Загальний вид рядків в NMEA 0183:

- ➡ символ «\$».
- ➡ 5-буквений ідентифікатор повідомлення. Перші дві букви — ідентифікатор джерела повідомлення, наступні три букви — ідентифікатор формату повідомлення, згідно протоколу NMEA 0183 певної версії.
- ➡ список даних (букви, цифри і точки), розділених комами; якщо які-небудь дані відсутні усередині рядка, коми все одно ставляться (наприклад«,,»); деякі поля в кінці рядка можуть бути відсутні.
- ➡ символ «*».
- ➡ 2-значне 16-ричне число — контрольна XOR-сума всіх байт в рядку між «\$» і «*».
- ➡ <CR><LF> (кінець рядка).

Повний набір NMEA-повідомлень і команд достатньо великий, проте часто використовують єдине повідомлення: «мінімум

навігаційних даних RMC», що рекомендується. Якщо приймач GPS не налагоджений інакше, то, як правило, RMC-рядки посилаються автоматично з інтервалом в 1 секунду. Іноді виробники приймачів супутникової навігації нехтують стандартами, додаючи власну інформацію, забуваючи передавати кінець рядка, тощо.

RMC-рядок (пропусків і перенесень усередині рядка немає):

\$GPRMC,hhmmss.ss,A,GGMM.MM,P,gggmm.mm,J,v.v,b.b,ddmmyy,x.x,n,m*hh<CR><LF>

Значення полів:

- «GP» — прийом сигналів GPS (в деяких системах «GL» зарезервоване для ГЛОНАСС)

- «RMC» — «Recommended Minimum specific»

- «hhmmss.ss» — час фіксації місцеположення по Грінвічу UTC: «hh» — години, «mm» — хвилини, «ss.ss» — секунди. Довжина дробової частини секунд варіюється. Лідируючі нулі не опускаються.

- «A» — статус: «A» — дані достовірні, «V» — недостовірні.

- «GGMM.MM» — широта: GG - градуси; MM.MM - хвилини. Лідируючі нулі не опускаються.

- «P» — «N» для північної або «S» для південної широти.

- «gggmm.mm» — довгота: ggg - 3 цифри градусів, mm.mm - хвилини. Лідируючі нулі не опускаються.

- «J» — «E» для східної або «W» для західної довготи.

- «v.v» — горизонтальна складова швидкості відносно землі у вузлах. Число з плаваючою точкою. Ціла і дробова частини змінної довжини.

- «b.b» — шляховий кут (напрямок швидкості) в градусах. Число з плаваючою точкою. Ціла і дробова частини змінної довжини. Значення рівне 0 відповідає руху на північ, 90 — схід, 180 — південь, 270 — захід.

- «ddmmyy» — дата: день місяця, місяць, останні 2 цифри року (ведучі нулі обов'язкові).

- «x.x» — магнітна відміна (*магнитное склонение*) в градусах (часто відсутня), розрахована по деякій моделі. Число з плаваючою точкою. Ціла і дробова частини змінної довжини.

- «**n**» — напрям магнітної відміни: для отримання магнітного курсу магнітну відміну необхідна «**E**» — відняти, «**W**» — додати до істинного курсу.

- «**m**» — індикатор режиму: «**A**» — автономний, «**D**» — диференціальний, «**E**» — апроксимація, «**N**» — недостовірні дані (часто відсутній, дане поле, включаючи кому, відсутнє в старих версіях NMEA).

- «**hh**» — контрольна сума.
- <**CR**> — байт рівний **0x0D**.
- <**LF**> — байт рівний **0x0A**.

Приклад 1. RMC-рядка:

\$GPRMC,125504.049,A,5542.2389,N,03741.6063,E,0.06,25.82,200906,,*3B

- 12 годин 55 хвилин 4,049 секунд UTC
- «**A**» — достовірно
- широта 55° 42,2389', північна
- довгота 37° 41,6063', східна (в Москві)
- швидкість 0,06 вузлів
- напрям руху 25,82 градуси
- 20 вересня (20) 06 року
- магнітна відміна не вказана
- напрям магнітної відміни не вказаний
- індикатор режиму відсутній
- контрольна сума 0x3B

Приклад 2. RMC-рядка:

\$GPRMC,,V,,,,,,080907,9.6,E,N*31

- «**V**» — недостовірно
- 8 вересня (20) 07 року
- магнітна відміна східна, 9.6°
- «**N**» — недостовірні дані
- контрольна сума 0x31

Вся решта полів відсутня (фактично, немає сигналу від супутників).

4.4. Огляд GPS – приймачів

На сьогоднішній день ринок пропонує широкий вибір GPS-приймачів: портативні, стаціонарні, наручні, автомобільні, авіаційні, комп'ютерні. Передові розробки і моделі приймачів представлені фірмами Garmin, Magellan, Cobra. Функціональні можливості і вартість приймачів дуже сильно розрізняються. Приведемо невеликий порівняльний огляд найпопулярніших GPS - приймачів за критерієм “вартість-якість”.

GPS-приймач GARMIN GEKO 101

Модель Garmin Geko 101 (рис 4.10 а) – це мініатюрний, легкий (вага всього 88 гр.), водонепроникний і простий у використанні прилад для користувачів - початківців системи GPS. Він не має засобів підключення до комп'ютера і зовнішнього живлення і може зберігати в пам'яті всього 250 шляхових точок і жодного маршруту.

Характеристики:

- 12 годин роботи на 2 AAA батареях;
- Місткість шляхового журналу (Tracklog) 3000 точок;
- Розмір екрану (висота × ширина) 100 × 64 пікселів;
- Ціна – 150 USD.



а)



б)



в)

Рис. 4.10. GPS приймачі сімейства GARMIN

Портативний навігатор GARMIN E-trex Camo

12-канальний портативний GPS-приймач у водонепроникному корпусі забарвлення типу камуфляж (рис 4.10 б) . Зручний

компактний корпус з гумовими накладками з боків легко уміщається в руці або в кишені. Забарвлення типу камуфляж приладу не дозволить демаскувати себе на полюванні або рибалці. Кількість шляхових точок: 500. Кількість маршрутів: 1 (50 точок). Додаткові параметри, що відображаються: поточна швидкість, середня швидкість, час сходу/заходу сонця, максимальна швидкість, що обнуляється, таймер, вимірник відстані. Підтримувані системи координат: LAT/LON, UTM/UPS, Мейденхедська, MGRS та інші. Підтримувані стандарти обміну даними: RS232 з форматами NMEA 0183, RTCM 104 для даних DGPS, формат для обміну між приладами «Garmin». Інтерфейс русифікований.

Розміри: 11.2 × 5.1 × 3.0 см. Вага: 150 гр. Живлення: 2 батареї типу AA. Час роботи від одного комплекту батарей: до 22 годин. Ціна: 285 USD.

GPS-навігатор GARMIN eTrex Legend C

Компактний портативний GPS навігатор Garmin (рис 4.10 в), має кольоровий екран (256 кольорів) з високим дозволом 220 × 176 точок. Дисплей приладу пристосований до роботи на яскравому сонці. Нова технологія збереження енергії батарей дозволяє новим навігаторам працювати тривалий час всього на 2-х AA батареях (до 36 годин). Модель має 24 Мб пам'яті для завантаження детальних карт місцевості (у тому числі карт України), а також вмонтовану базову карту Європи. Базова карта дозволяє приладу автоматично прокладати маршрут з урахуванням дорожньої мережі. Як і всі нові моделі Garmin – eTrex Legend C має можливість підключення до комп'ютера через USB інтерфейс, причому інтерфейс COM тепер уже не підтримується. Ще однією особливістю нового приладу є те, що він підтримує живлення через USB кабель. Ще однією відмінністю від попередніх моделей серії eTrex є наявність звукової сигналізації в деяких функціях (таких наприклад, як наближення до цілі). Ціна – 425 USD.

GPS-навігатор MAGELLAN SporTrak

Модель SporTrak – це базова модель нової лінійки портативних GPS навігаторів Magellan (рис 4.11 а).

Це доступний за ціною і простий в експлуатації навігатор. Він достатньо компактний, легкий (172 гр.) і при цьому має достатньо великий дисплей (5.8×3.6 см, 160×104 пікселів) з підсвічуванням.



а)

б)

в)

Рис. 4.11. GPS приймачі сімейства MAGELLAN

Прилад має вмонтовану базу точок по містах світу (додаткові точки можна завантажувати з дисків MapSend або DataSend) і пам'ять 1 Мб (тільки для точок). Новою функцією лінійки SporTrak є вмонтована система допомоги (покрокові інструкції пояснюють, як виконати ту чи іншу операцію). Оригінальна функція NorthFinder показує напрям на північ, навіть коли об'єкт не рухається. Також загальними для всіх моделей серії SporTrak є наступні характеристики і функції:

- Підтримка 20 маршрутів, 500 шляхових точок і 2000 точок шляхового журналу (треку);
- Живлення: 2 батареї типу АА, заявлений виробником час роботи - 14 годин;
- Управління за допомогою 8-ми кнопок і плоского джойстика (як і у старих 300-х навігаторів);
- Водозахищеність, причому прилад плаває у воді;
- Календар мисливця/риболова, а також інформація про час сходу і заходу сонця.

Ціна – 261 USD.

GPS-приймач MAGELLAN Meridian Marine GPS

Дана модель (рис 4.11б) створена спеціально для тих, хто подорожує по воді (моряків, яхтсменів, рибаків, тощо).

Вона має вмонтовану картографічну базу об'ємом 16 Мб, проте ця база містить інформацію тільки про водні шляхи і об'єкти (маяки, буї, порти, тощо). GPS навігатори Meridian являють собою новий ступінь в розвитку персональних засобів навігації, адже конструктори Magellan оснастили ці прилади слотом для популярних карт пам'яті SD (об'ємом 8, 16, 32, 64 Мб і більше), які використовуються для зберігання картографічної інформації. Також загальними для всіх моделей серії Meridian є наступні характеристики і функції:

- підтримка 20 маршрутів, 500 шляхових точок і 2000 точок шляхового журналу (треку);
- живлення: 2 батареї типу АА, заявлений виробником час роботи - 14 годин;
- водозахищеність, причому прилад плаває у воді;
- календар мисливця/риболова, а також інформація про час сходу і заходу сонця;
- вмонтована система допомоги на російській мові (покрокові інструкції пояснюють, як виконати ту чи іншу операцію);
- функція NorthFinder показує напрям на північ, навіть коли об'єкт не рухається.

Ціна – 594 USD.

GPS-навігатор MAGELLAN Meridian Color

Портативний GPS навігатор з кольоровим екраном (рис 4.11в). Кольоровий екран може помітно полегшити сприйняття електронної карти з великою кількістю об'єктів. Решта характеристик даної моделі аналогічна Meridian Gold. GPS навігатори Meridian являють собою новий ступінь в розвитку персональних засобів навігації, адже конструктори Magellan оснастили ці прилади слотом для популярних карт пам'яті SD (об'ємом 8, 16, 32, 64 Мб і більше), які використовуються для зберігання картографічної інформації.

Ціна – 689 USD.

Навігатор Cobra GPS 100

GPS навігатор початкового рівня, що не має можливості для підключення до комп'ютера (рис 4.12 а).

Основні характеристики:

- Кількість шляхових точок – 500;
- Кількість маршрутів/точок в маршруті – 1/50;
- Розмір екрану (висота × ширина) 128 × 64 пікселі;
- Водонепроникний.

Ціна – 160 USD.



а)

б)

Рис. 4.12. GPS приймачі сімейства Cobra

Навігатор Cobra GPS 500

Навігатор Cobra GPS 500 (рис 4.12 б) відрізняється від молодшої моделі можливістю підключення до комп'ютера, наявністю вмонтованої пам'яті, картографічної бази даних і можливістю зберігати 20 маршрутів. За допомогою комп'ютера і відповідного програмного забезпечення, у внутрішню пам'ять приладу можна завантажити складений наперед маршрут.

Основні характеристики:

- Кількість шляхових точок – 500;
- Кількість маршрутів/точок в маршруті – 20/50;
- Розмір екрану (висота × ширина) 128 × 64 пікселів;
- Водонепроникний;

- Місткість шляхового журналу (Tracklog) – 2000 точок.
Ціна - 210 USD

4.5. Система управління рухом автомобільного транспорту з використанням системи GPS

Сучасні підходи до створення систем управління рухом автомобільного транспорту допускають широке використання сучасних методів геодезичних вимірювань, в першу чергу *GPS - технологій*. **Супутникова радіонавігаційна система** або, як вона ще називається *глобальна система визначення місцеположення GPS* (Global Position System) **забезпечує високоточне визначення координат і швидкості об'єктів в будь-якій точці земної поверхні, у будь-який час доби, в будь-яку погоду, а також точне визначення часу.**

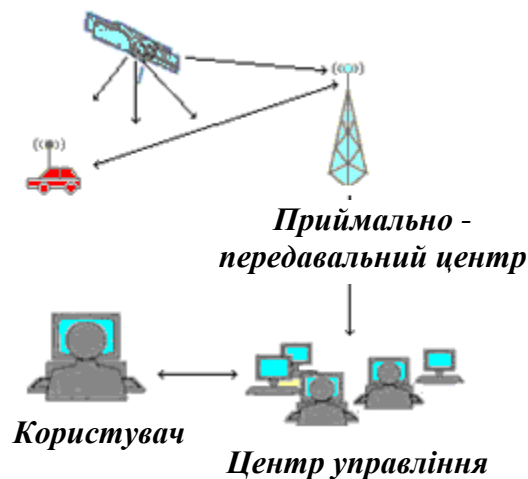
Система управління рухом автомобільного транспорту (СУРАТ) повинна вирішувати наступні задачі:

- контроль поточного місцезнаходження транспортного засобу;
- можливість управління як окремим об'єктом, так і групою об'єктів;
- відображення координат об'єктів на планшеті (карті місцевості), а також зберігання даних для подальшого їх аналізу;
- отримання інформації про технічний стан транспортного засобу;
- організація безпеки руху автомобільного транспорту;
- контроль маршруту і параметрів руху автомобільного транспорту;
- визначення точного часу початку і закінчення руху автомобільного транспорту за маршрутом, згідно шляхового листа;
- контроль точності виконання водіями поставлених завдань і проведення аналізу причин їх невиконання (порушення);
- складання оптимального маршруту руху автомобільного транспорту.

Переважно СУДАТ будуються згідно приведеного на рис. 4.13 варіанту.

Основною функцією СУРАТ є визначення місцезнаходження автомобільного транспорту. Для цього використовуються

супутникова система NAVSTAR GPS (США), яка дозволяє в будь-якому місці земної кулі і у будь-який момент часу визначати точні координати, напрям руху і швидкість транспортних засобів.



4.13. Одна із схем управління автомобільним транспортом

СУРАТ забезпечує відображення місцезнаходження транспортних засобів на екрані комп'ютера диспетчерського центру (користувача), на електронній карті місцевості в реальному масштабі часу. На карті місцевості показується, де знаходиться об'єкт, за запитом приводиться вся інформація про нього, включаючи дані з GPS-приймачів, встановлених на транспортному засобі.

Дуже широке поширення в світі набули системи автоматичного визначення координат рухомих об'єктів на основі GPS або системи GPS/AVL (Automatic Vehicle Location). За їх допомогою на сучасному рівні розв'язуються задачі диспетчеризації транспортного парку. Кожний автомобіль оснащується GPS-приймачем і радіозв'язним устаткуванням, що забезпечує передачу інформації на диспетчерський пункт. На екрані монітора диспетчера, з використанням програмного забезпечення ГІС, формується електронна карта території, яка обслуговується транспортними засобами. Дані про координати і швидкість руху автомобілів, що передаються по радіоканалах, дозволяють відобразити їх поточне положення на цій карті. Окрім координатної інформації по радіозв'язній лінії можуть передаватися сигнали різних датчиків, встановлених на автомобілі та інша інформація.

Можливості системи:

- ➡ диспетчер відстежує в реальному часі переміщення всіх автомобілів;
- ➡ на електронній карті виділяються зони, при попаданні автомобілів в які подається сигнал диспетчеру;
- ➡ при відхиленні автомобілів від заданого маршруту у диспетчера спрацьовує сигналізація;
- ➡ з диспетчерського пульта контролюються показники датчиків, встановлених на кожній рухомій одиниці: паливних, температурних, несанкціонованого відкриття контейнерів, перевертання автомобіля, включення “мигалки” і тому подібне;
- ➡ стандартні повідомлення водія можуть бути запрограмовані так, що при натисненні відповідної кнопки в автомобілі до диспетчера поступає інформація типу: “пробка на дорозі”, “потрапив в аварію”, “затриманий міліцією”, “напад”, “угін”, тощо. Ці повідомлення, при необхідності, легко кодуються і можуть використовуватися у випадках, коли потрібно дотримувати режиму радіомовчання.

За командою з диспетчерського пункту можуть блокуватися: *система запалення двигуна, двері салону автомобіля і контейнера, тощо.*

У кабіні автомобіля може бути встановлений спеціальний бортовий комп'ютер, що працює в режимі терміналу. Окрім текстових повідомлень між водієм і диспетчером передаються спеціальні форми (накладні, маршрутні листи і т.д.).

Моделюючи можливості ГІС диспетчера дозволяють оптимізувати маршрути доставки вантажів з урахуванням різних факторів.

Розділ 5. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ГІС

У більшості інструментальних ГІС здійснюється комплексна обробка інформації - від збору даних до її зберігання, оновлення і представлення. Такі системи відносяться до класу повних. Вони включають технології збору інформації, використовують максимальну кількість методів моделювання, автоматизованого

проектування і вирішують ряд спеціальних проектних задач, які в типовому автоматизованому проектуванні не зустрічаються.

Розглянемо деякі з існуючих ГІС (Internet теж можна розглядати як систему представлення інформації ГІС - систему документаційного забезпечення).

5.1. Internet, як геоінформаційна система

Для розуміння і надбання умінь застосовувати Internet в повсякденній діяльності необхідно розглянути основні поняття, структуру і можливості системи.

5.1.1. Комп'ютерні мережі

Концепція комп'ютерних (обчислювальних) мереж є логічним результатом еволюції комп'ютерної технології.

Комп'ютерною мережею називається сукупність взаємозв'язаних через канали передачі даних (ліній зв'язку) комп'ютерів, що забезпечують користувачів засобами обміну інформацією і колективного використання ресурсів мережі: апаратних, програмних і інформаційних.

Лінії зв'язку створюються кабелями, мережними адаптерами і іншими комунікаційними засобами. Все мережне обладнання працює під управлінням системного і прикладного програмного забезпечення.

Основним призначенням мережі є забезпечення простого, зручного і надійного доступу користувача до розділених загальномережних ресурсів і організація їх колективного використання при надійному захисті від несанкціонованого доступу, а також забезпечення зручних і надійних способів передачі даних між користувачами мережі.

Якість роботи мережі характеризується наступними властивостями: керованість, захищеність, розширюваність і масштабістність.

Комп'ютерні мережі можна класифікувати за низкою ознак, у тому числі за ступенем територіального розподілу.

У епоху загальної інформатизації великі об'єми інформації зберігаються, обробляються і передаються в **локальних, регіональних і глобальних мережах.**

➡ **Глобальні мережі** об'єднують користувачів у всьому світу і часто використовують супутникові канали зв'язку, які дозволяють з'єднувати вузли мережі і ЕОМ на відстані **10-15 тис. км.**

➡ **Регіональні мережі** об'єднують користувачів міста, області, невеликих країн (**10- 100км.**).

➡ **Локальні мережі** об'єднують абонентів одного або декількох навколишніх будівель, одного підприємства, установи. В локальних мережах створюються загальні бази даних для роботи користувачів. В них здійснюється формування єдиного наукового, економічного, соціального і культурного інформаційного простору.

Єдиний для всіх комп'ютерів високошвидкісний канал передачі даних – головна особливість локальної мережі (ЛМ) (**до 10 км.**).

З появою персональних комп'ютерів (ПК) виникли локальні обчислювальні мережі (ЛОМ).

ЛОМ - сукупність комп'ютерів, кабелів і мережних адаптерів, що працюють під управлінням мережної операційної системи (ОС) і прикладного програмного забезпечення (ППЗ).

ЛОМ дозволяють декільком користувачам одночасно працювати з одними і тими ж файлами (інформацією).

Окрім розподілу файлів, користувачі ЛОМ мають одночасний доступ до принтера, модему, факсу.

Таким чином, метою створення ЛОМ є можливість загального використання комп'ютерних ресурсів, а саме файлів, вінчестерів, принтерів, факсів, тощо.

Топологія з'єднання ЛОМ

Важливу роль в архітектурі мережі грає **топологія з'єднань**. Існує три основні типові форми топології з'єднання ЛОМ: *загальна шина, кільцева топологія, топологія типу зірка*. Інші є їх похідними. Розглянемо п'ять типових способів (топологій) з'єднання комп'ютерів в ЛОМ:

- 1. загальна шина;**
- 2. кільцева топологія;**
- 3. топологія типу зірка;**
- 4. повнозв'язна;**
- 5. щільникова;**

➔ **Загальна шина** (рис.5.1) є дуже поширеною топологією для локальних мереж.

У цьому випадку комп'ютери підключаються до одного коаксіального кабелю за схемою "монтажного АБО".

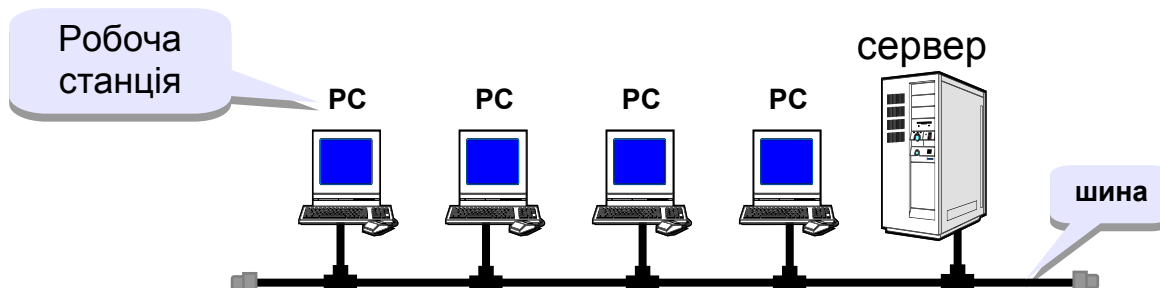


Рис.5.1. Топологія з'єднання ПК загальна шина

Інформація, що передається, може розповсюджуватися в обидві сторони. Вживання загальної шини знижує вартість проводки, уніфікує підключення різних модулів, забезпечує можливість майже миттєвого широкомовного спілкування зі всіма станціями мережі.

Основними перевагами такої схеми є дешевизна і простота розводки кабелю по приміщеннях.

Найбільший недолік загальної шини полягає в її низькій надійності: будь-який дефект кабелю або якого-небудь з численних роз'ємів повністю паралізує всю мережу.

Іншим недоліком загальної шини є її невисока продуктивність, оскільки при такому способі підключення в кожен момент часу тільки один комп'ютер може передавати дані в мережу. Тому пропускна спроможність каналу зв'язку завжди розподіляється між всіма вузлами мережі.

➔ **Кільцева топологія** (рис.5.2). У кільцевій топології всі вузли з'єднані в кільце і передача інформації виконуються в одному напрямі по кільцю. В деяких кільцевих мережах організовано два кільця для виконання передачі інформації в протилежних напрямках. Для встановлення черговості виходу вузлів в кільцеву мережу використовуються методи часового мультиплексування, передачі маркера і розширення кільця.

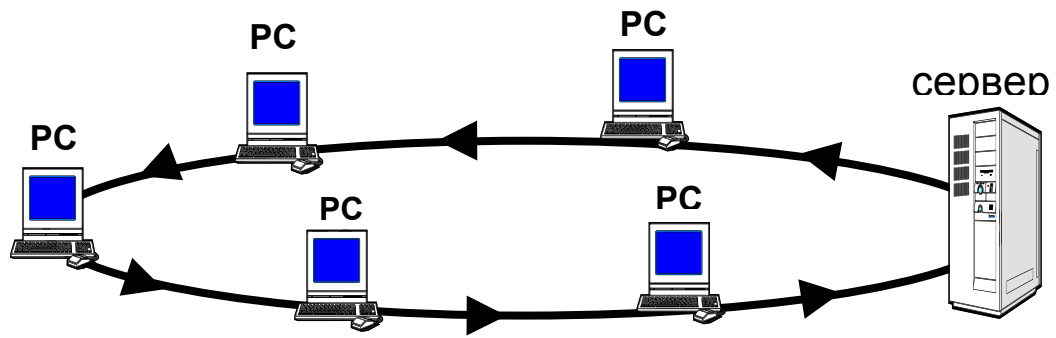


Рис.5.2. Кільцева топологія з'єднання ПК

➡ **Зіркоподібна топологія** (рис.5.3). Зіркоподібна топологія складається з одного вузла-концентратора і декількох сполучених з ним термінальних вузлів. Термінальні вузли безпосередньо не зв'язані між собою. Якщо один з терміналів, у свою чергу, є концентратором іншої зіркоподібної мережі, то загальна мережа набуває деревовидної топології.

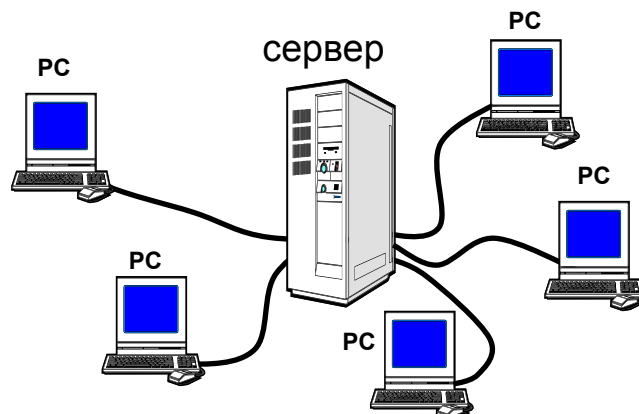


Рис.5.3. Топологія з'єднання ПК типу зірка

➡ **Повнозв'язна топологія** (рис. 5.4). Повнозв'язна топологія відповідає мережі, в якій кожен комп'ютер зв'язаний зі всіма іншими. Не дивлячись на логічну простоту, цей варіант виявляється громіздким і неефективним. Дійсно, кожен комп'ютер в мережі повинен мати велику кількість комунікаційних портів, достатніх для зв'язку з кожним із інших комп'ютерів мережі. Для кожної пари комп'ютерів повинна бути виділена окрема електрична лінія зв'язку. Повнозв'язна топологія застосовується рідко, оскільки вона не задовольняє жодній з приведених раніше вимог. Частіше цей вид топології використовується в багатомашинних комплексах або глобальних мережах при невеликій кількості комп'ютерів.

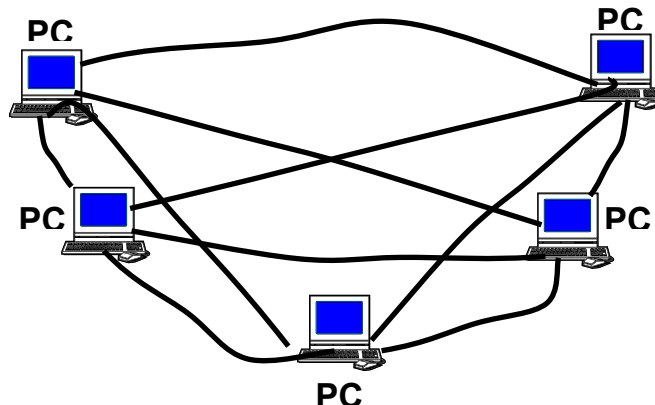


Рис.5.4. Повнозв'язна топологія з'єднання ПК

➡ **Щільникова топологія** (рис. 5.5). Щільникова топологія будується із повнозв'язної шляхом видалення деяких можливих зв'язків. В мережі щільникової топології безпосередньо зв'язуються тільки ті комп'ютери, між якими відбувається інтенсивний обмін даними, а для обміну даними між комп'ютерами, не сполученими прямими зв'язками, використовуються транзитні лінії передачі даних через проміжні вузли. Щільникова топологія допускає з'єднання великої кількості комп'ютерів і є характерною, як правило, для глобальних мереж.

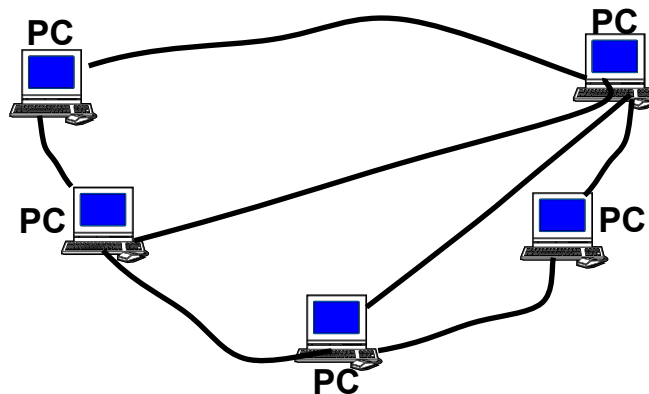


Рис.5.5. Щільникова топологія з'єднання ПК

Концепції побудови програмного забезпечення

На сьогоднішній день набули поширення *дві концепції побудови програмного забезпечення* (ПЗ):

1. У першій концепції мережне ПЗ орієнтовано на надання багатьом користувачам ресурсів головного комп'ютера, який називають **файл – сервером** (рис.5.6).

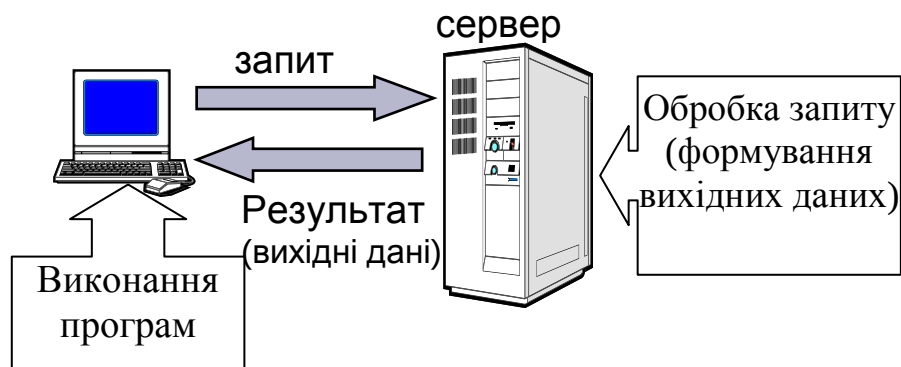


Рис.5.6. Файл - сервер

Сервер тільки забезпечує доступ до баз даних. Згідно запиту користувача по мережі передаються копії всієї бази даних, а потім програмне забезпечення. Користувач обробляє дані і посилає на сервер результати.

У даній концепції програмне забезпечення орієнтоване не тільки на колективне використання ресурсів, але і на обробку інформації на місці розміщення ресурсу згідно запитів користувачів.

2. Друга концепція називається *клієнт-сервер* (рис. 5.7)

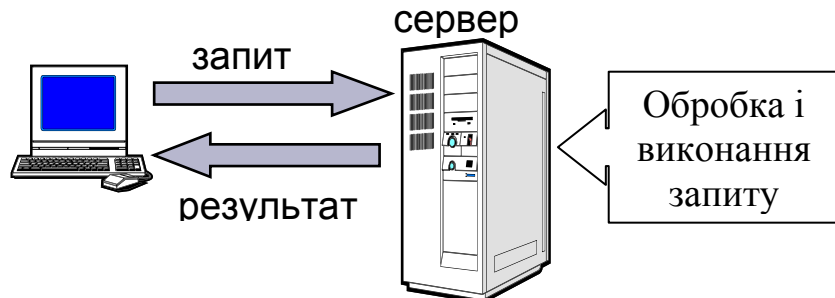


Рис.5.7. Клієнт - сервер

Програмне забезпечення архітектури "клієнт-сервер" складається з двох частин:

1. Програмного забезпечення серверу;
2. Програмного забезпечення користувача-клієнта.

Робота цих систем організовується наступним чином: програми-клієнти виконуються на комп'ютері користувача і посилають запити до програми - серверу, яка працює на комп'ютері загального доступу. Основна обробка даних проводиться сервером, а на комп'ютер користувача посилаються тільки результати виконання запиту.

Розподілена обчислювальна система є сукупністю окремих ПК, встановлених безпосередньо на робочих місцях і сполучених між собою за допомогою засобів зв'язку в мережу колективу обчислювачів.

5.1.2. Розподілена БД. Розподілені технології

Вся інформація, у тому числі і просторово-часова, зберігається в БД.

БД - це сукупність даних, які володіють властивостями: структурованості, взаємозв'язаності і незалежності від прикладних програм.

Найефективнішим є режим розподіленої обробки інформації. В цьому режимі на кожному робочому місці здійснюється частина операцій, пов'язаних з виготовленням документа. Коли завершується обробка на одному місці, документ передається по каналах зв'язку для обробки на інше робоче місце. Технологія розподіленої обробки інформації найкращим чином відповідає особливостям роботи установи при створенні і технічному виготовленні документу, але без недоліків, характерних для неавтоматизованої технології його створення.

Розподілена база даних - це БД, вміст якої зберігається в декількох окремих підсистемах, як правило, фізично рівнозначних.

Розподілені структури зараз активно досліджуються в рамках програм аналізу і обробки баз даних. Цей інтерес був викликаний, перш за все, появою національних і міжнародних систем зв'язку.

Сучасній системі управління базами даних властиві різні можливості підтримки розподілених баз даних. Але, наприклад, в банківській системі може застосовуватися і децентралізована обробка інформації.

5.1.3. Загальна структура INTERNET

Рівень інтересу всіх верств суспільства до глобальної інформаційної мережі Internet росте з кожним днем. Кількість її користувачів різко збільшується і за деякими оцінками вже перевищила 50-мільйонної відмітки.

Internet - це велика, розгалужена (розподілена) мережа, яка включає комп'ютерні вузли, розміщені у всьому світу і з'єднана між собою різними засобами зв'язку.

Одиницею мережі Інтернет є локальна обчислювальна мережа, сукупність яких об'єднується деякою регіональною (глобальною) мережею (відомчої або комерційної). На вищому ступені регіональні мережі з'єднуються з однією з так званих опорних мереж Інтернет. (Насправді регіональні мережі можуть бути зв'язані між собою без виходу на опорну мережу.)

Лініями зв'язку можуть бути прості телефонні канали, коаксіальні і оптоволоконні лінії, різні канали радіозв'язку в будь-якому частотному діапазоні, могутні стовбури радіорелейних і супутникових ліній.

Internet - це мережа автономних комп'ютерних мереж, які зв'язані за допомогою міжмережєвих шлюзів.

Існує дві важливі характеристики, які ці мережі об'єднують:

1. всі мережі використовують єдині умовні позначення для розв'язання задач переміщення даних і обробки повідомлень;
2. всі мережі в системі Internet мають загальний спосіб адресації повідомлень і спеціальну ідентифікацію комп'ютерів, які знаходяться в системі Internet.

Ресурси Internet

Вся інформація в Internet зберігається у вигляді файлів. Самі файли зберігаються в комп'ютерах, постійно підключених до ліній зв'язку, через які відбувається доступ до них. ***Вся сукупність файлів - це ресурси Internet.***

Самі ресурси (файли) можуть бути різних типів: текстові, гіпертекстові, звукові, графічні, електронні листи, тощо. Всі файли організовані в певні структури, з яких їх легко можна дістати. Способи доступу до файлів визначаються спеціальними правилами, які називаються *протоколами доступу*.

Сервер

В основі мережі лежать декілька мільйонів великих і малих комп'ютерів, з'єднаних між собою постійно (або майже постійно) і

які є базами для приєднання до мережі всіх бажаючих. Ці віддалені комп'ютери, на яких працюють серверні програми і які виконують обробку запитів користувачів для спільного використання ресурсів (їх ідентифікацію, перевірку повноважень, прийом даних від користувачів і передачу даних) - називають **серверами**. Власниками серверів можуть бути державні організації, учбові заклади, великі комерційні організації і навіть приватні особи.

Сервер потрібний в першу чергу для організації і колективної роботи в мережі рис.5.8.



Рис.5.8. Web сервер

Сервіс-провайдер

Кожний сервер має своє ім'я. При створенні серверу це ім'я "купають" за певну суму. Організація, яка встановила у себе сервер і одержала ім'я, стає **сервіс-провайдером**. Сервери Internet є ніби "розетками" (або вузлами), до яких підключаються користувачі. До одного сервіс-провайдера можуть бути підключені від декількох клієнтів до декількох мільйонів клієнтів. Мільйони постійних серверів Internet об'єднують десятки мільйонів користувачів.

Окрім задачі підключення користувачів до мережі, ці вузли виконують ще дві важливі функції

- ➡ по-перше, вони можуть зберігати інформацію;
- ➡ по-друге - можуть її передавати.

Маршрутизатори

Зберігання інформації - це внутрішня функція серверу, призначена для обслуговування підключених клієнтів. Але є ще і

зовнішня функція - передача інформації. Щоб відбувся зв'язок, інформація, яка передається, повинна пройти через десятки серверів. Явно не можна передбачити, яким чином рухатиметься інформація. На серверах, які є вузлами мережі, працюють спеціальні апаратно-програмні засоби, які називають *маршрутизаторами*. Вони визначають, куди в даний момент потрібно "перекинути" одержаний пакет. Якщо який-небудь сервер в мережі тимчасово відключений і від нього не прийде підтвердження про прийом інформації, інформація автоматично відправиться в обхід. Так система Internet самоорганізовується і самоналагоджується.

Хост-комп'ютери

Термін "хост" (Host) позначає комп'ютер, відключений до локальної або глобальної мережі Internet на постійній основі. Практично про будь-який сервер в Internet можна сказати, що він є хостом. Хост - комп'ютер - установлений у вузлах мережі сервер, який вирішує питання комунікації і доступу до мережевих ресурсів: модемам, великим комп'ютерам тощо.

Хостами також є комп'ютери, які виконують в Internet службові функції, в основному займаються маршрутизацією інформації. Наймолодший домен в Internet - адресі указує на хост-комп'ютер або поштовий сервер.

Сервіси (служби) Internet

У одній мережі можуть діяти різні служби, які надають різний сервіс залежно від напрямку використання мережі (рис.5.9).

У історії Internet існували різні види сервісів, одні з яких в даний час вже не використовуються, інші поступово втрачають свою популярність, тоді як треті переживають свій розквіт.

Під "службою" в Internet розуміється певна система обміну інформацією, яка включає працюючі на цю службу сервери, обслуговуючі програми і протоколи передачі даних.

Перерахуємо ті із сервісів, які не втратили своєї актуальності на даний момент:



Рис. 5.9. Структура інформаційного наповнення мережі Internet.

➡ **WWW** (World Wide Web, або всесвітня павутина) - інформаційна система, яка базується на гіпертекстовій технології, розроблена в Європейському центрі ядерних досліджень (CERN). Вона використовує гіпертекстову мову запису файлів HTML (Hyper Text Markup Language), в яку можуть конвертуватися формати пакетів Microsoft Word, Word Perfect та інші. Документи WWW можуть бути в текстових, відео, аудіо фрагментах. Всесвітня павутина - обличчя сучасної мережі. Поява цієї служби зробила роботу з інформацією легкою і приємною, привабила в ряди користувачів мережі сотні мільйонів людей.

В принципі WWW це служба пошуку та перегляду гіпертекстових документів, які включають в себе графіку, звук та відео.

➡ **Електронна пошта (E-mail)** - найпростіша, корисна і доступна для багатьох користувачів послуга: служба передачі електронних повідомлень.

Сьогодні важко уявити собі існування без електронної пошти. Більшість абонентів Internet користується тільки цією послугою. Дуже велика роль електронної пошти і в комерційних мережах. З її допомогою можна надрукувати і відправити послання, яке буде доставлене практично миттєво. До повідомлення можна приєднати документ, зображення, голосовий запис, відеофрагменти. Нові стандарти безпеки дозволяють посилати конфіденційні повідомлення, які може прочитати тільки той, кому вони

адресовані. Internet Explorer дозволяє користувачу спілкуватися, використовуючи програму електронної пошти Outlook Express.

➡ **Usenet, News** – телеконференції, групи новин – різновидність мережевої газети або дошки об'яв.

➡ **FTP** – служба передачі файлів.

➡ **ICQ** – служба для спілкування в реальному часі за допомогою клавіатури.

➡ **Telnet** – служба віддаленого доступу до комп'ютерів.

➡ **Gopher** – служба доступу до інформації за допомогою ієрархічних каталогів.

Серед цих служб можна виділити служби, призначені для комунікації, тобто для спілкування, передачі інформації (E-mail, ICQ), а також служби, призначення яких – це зберігання інформації і забезпечення доступу до цієї інформації користувачів. Серед останніх служб лідирує місце за об'ємом збереженої інформації займає служба WWW, оскільки дана служба найбільш зручна для роботи користувачів і найбільш прогресивна в технічному плані. На другому місці знаходиться служба FTP, оскільки які б інтерфейси і зручності не розробляли для користувача, інформація все одно зберігається у файлах, доступ до яких і забезпечує ця служба. Служби Gopher і Telnet в даний час можна вважати "відмираючими", оскільки нова інформація вже майже не поступає на сервери цих служб і кількість таких серверів і їх аудиторія практично не збільшується.

Протоколи Internet

Просте підключення одного комп'ютера до іншого - крок, необхідний для створення мережі, але не достатній. Щоб почати передавати інформацію, потрібно переконатися, що комп'ютери "розуміють" один одного. Як же комп'ютери "спілкуються" по мережі? Щоб забезпечити цю можливість, були розроблені спеціальні засоби, що одержали назву "протоколи".

Кожна служба Internet має свій протокол.

Протокол - це набір правил, у відповідності з якими здійснюється передача інформації у мережі.

Протоколи задають способи передачі даних, повідомлень, обробку помилок мережі і ряд інших функцій. Всі параметри, від

швидкості передачі даних і до методів адресації при транспортуванні окремих повідомлень, визначаються і задаються протоколами, які використовуються в даній конкретній мережі. За дотриманням протоколів під час передачі інформації стежать програми, що працюють у відправників і одержувачів.

Протокол TCP/IP - Transmission Control Protocol/Internet Protocol (Протокол управління передачею /Протокол Інтернета). Для того, щоб комп'ютери, що працюють з різними операційними системами, могли бути сумісними між собою, і додатково з різними лініями зв'язку, в Internet була прийнята єдина мова спілкування - своєрідний мережний есперанто. Цією мовою став набір протоколів **TCP/IP**, що забезпечує цілісність і збереження даних під час передачі їх усередині мережі.

Адреса в Internet грає роль поштового індексу. Комп'ютери мережі пересилають повідомлення до адресата по мережі.

Щоб користувач довгим повідомленням не монополізував канал мережі, воно розбивається на короткі пакети, які передаються послідовно, даючи можливість проходити і чужим пакетам. Протокол TCP розбиває інформацію користувача на короткі пакети, відстежує їх пересилку і правильний збір фрагментів знову в єдине ціле (рис.5.10).

Але TCP/IP не єдиний протокол, що дозволяє з'єднувати різні мережі. Internet зараз є багатопроTOCOLьною мережею, яка інтегрує і інші стандарти. Основні серед них - стандарти взаємодії відкритих систем (OSI), запропоновані Міжнародною організацією із стандартизації (ISO).

Системи, в основі яких інші протоколи (наприклад, BITNET), підключаються до Internet через так звані ***шлюзи*** - спеціальні програми-перекладачі які погоджують домовленості різних протоколів.

Крім того, кожний сервіс Internet має свій унікальний протокол, направлений на розв'язання задач, що стоять перед даною службою.

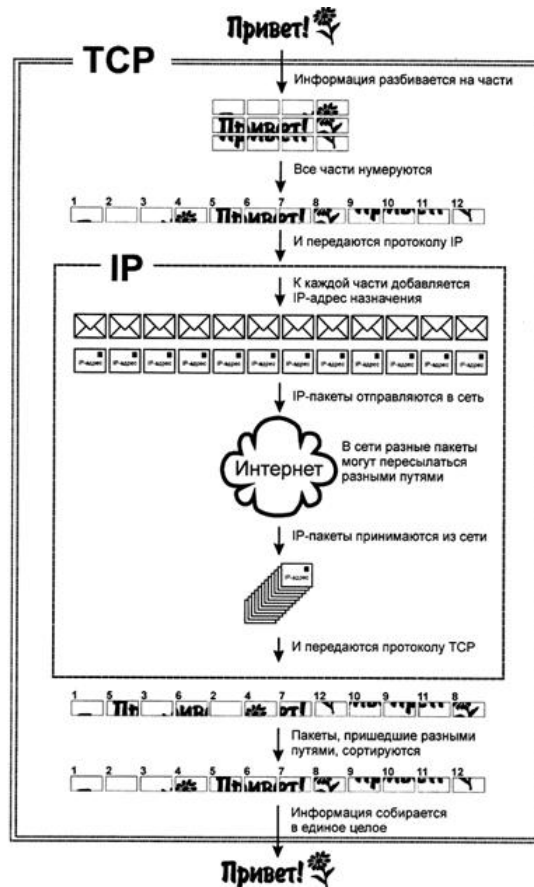


Рис.5.10. Схема функціонування протоколу TCP/IP:

Адресація в Internet. Ір-адреса

Щоб в процесі обміну інформацією комп'ютери могли знайти один одного, в Інтернеті існує єдина система адресації.

Унікальні номери, які використовуються для ідентифікації комп'ютерів, підключених до мережі Internet називаються **Ір-адресами**.

Кожний комп'ютер, підключений до Інтернету, має свою унікальну 32-бітову (в двійковій системі) ІР-адресу.

По формулі визначення кількості інформації легко підрахувати, що загальна кількість різних ІР-адрес складає більше 4 мільярдів:

$$N = 2^{32} = 4\,294\,967\,296.$$

У десятковому записі **ІР-адреса комп'ютера** в Інтернеті **складається із чотирьох чисел**, розділених крапками, кожне з яких лежить в діапазоні від 0 до 255. Наприклад, ІР-адреса серверу компанії МТУ-Інтел записується як 195.34.32.11.

Ip - адреса складається з 4 чисел (кожне не перевищує числа 255 в десятковому записі). Вони відокремлені один від одного крапками (**192.33.33.22** – це Ip-адреса так само, як і **155.66.251.01**). Крайнє число ліворуч позначає номер великої мережі, числа, які стоять праворуч, позначають більш дрібні ділянки мереж і так далі. Крайнє число праворуч позначає номер конкретного комп'ютера.

Доменні адреси

Комп'ютерам легко знаходити один одного по числовій IP-адресі, проте людині запам'ятати числову адресу непросто, і для зручності була введена доменна система імен (DNS — Domain Name System). Доменна система імен ставить у відповідність числовій IP-адресі кожного комп'ютера унікальне доменне ім'я.

Доменна система імен має ієрархічну структуру: домени верхнього рівня — домени другого рівня — домени третього рівня. Домени верхнього рівня бувають двох типів: географічні (двохбуквені — кожній країні відповідає двухбуквенний код) і адміністративні (трьохбуквені).

Імена комп'ютерів, які є серверами Інтернету, включають повне доменне ім'я і власне ім'я комп'ютера. Доменні імена читаються справа наліво. Крайня права група букв позначає домен верхнього рівня.

Так, основний сервер компанії Microsoft має ім'я www.microsoft.com.

Щоб полегшити розуміння адреси, для ідентифікації ділянок мережі почали використовувати спеціальні назви (**домени**), їх об'єднують в одне загальне ім'я, яке складається з частин (сегментів), відокремлених одна від одної крапками, наприклад khadi.kharkov.ua.

На відміну від Ip-адреси, доменні адреси звичайно починаються з назви протоколу, відокремленого від решти частини імені двокрапкою і двома правими рисками “//” (слешами). Після цього пишеться назва організації, яка підтримує даний вузол. Суфікс позначає тип організації або країну, в якій знаходиться вузол.

Наприклад, адреса **http://www.khadi.kharkov.ua** говорить про наступне:

- **http://** - доступ до вузла здійснюється за допомогою протоколу http;
- **www** - вузол знаходиться на Web;
- **khadi.kharkov** - вузол належить Харківському національному автомобільно-дорожньому університету, розташованому в місті Харкові;
- **.ua** - вузол знаходиться в Україні.

Суфікси доменних імен (домени верхнього рівня) можуть багато розказати про кожну конкретну адресу.

Позначення адміністративного домену дозволяє визначити профіль організації, власника домену:

- ➡ **.com** - комерційні домени, тобто ці адреси належать фірмам або компаніям;
- ➡ **.edu** - визначає освітню установу;
- ➡ **.gov** - домен верхнього рівня, для комп'ютерів урядових структур;
- ➡ **.mil** - відноситься до військового відомства;
- ➡ **.net** - відноситься до установ, які управляють мережами;
- ➡ **.org** - як правило, використовується для приватних компаній, які не підходять до вищезазначених категорій.

Для країн існують особисті домени верхнього рівня (географічні), які указують на назву країни.

Наприклад:

- ➡ **.ua** - Україна;
- ➡ **.ru** – Російська Федерація;
- ➡ **.de** - Німеччина;
- ➡ **.ch** - Швейцарія;
- ➡ **.it** – Італія;
- ➡ **.us** – США;
- ➡ **.ca** - Канада.

5.1.4. Електронна пошта

Розвиток технічних засобів передачі повідомлень не міг обійти таку область, як пошта, внаслідок чого з'явився принципово новий вид комунікації, названий *електронною поштою*.

Електронна пошта (*Electronic mail, або скорочено E-mail*) - спосіб відправлення і отримання повідомлень за допомогою комп'ютерної мережі.

Всім відома схема роботи звичної пошти: відправник кидає лист в поштовий ящик, поштовий автомобіль доставляє його до поштового відділення разом з іншими листами при вибірці із поштових ящиків. З відділення відправника лист відправляється транспортом до поштового відділення адресата, потім листоноша вкидає лист в індивідуальний поштовий ящик адресата і звідти той одержує кореспонденцію.

Електронна пошта з'явилася для обміну текстовими повідомленнями через мережі значної довжини. Зараз засоби електронної пошти дозволяють *передавати і приймати* будь-які файли: *програмні, графічні, звукові, відео та інші*. Послуги E-mail стали реальною альтернативою звичному листуванню. Відбулося це завдяки високій швидкості і надійності передачі повідомлень.

Аналогом листа, в цьому випадку, є електронне повідомлення, аналогами поштових відділень - поштові сервери, а транспорту - комп'ютерна мережа. Швидкість передачі повідомлень обмежується, в основному, пропускнуою спроможністю ліній зв'язку між комп'ютерами.

Кожний абонент, підключений до поштового серверу, має свою електронну адресу або, образно кажучи, поштовий ящик.

Доступ до цієї адреси захищений паролем абонента. Завдяки електронній адресі можна ідентифікувати будь-якого абонента в мережі (всі адреси повинні бути оригінальними). Абонент і сервер для обміну повідомленнями використовують кабель (якщо абонент підключений до ЛОМ з поштовим сервером) або звичну телефонну лінію (у разі віддаленого з'єднання).

Носієм електронних повідомлень між поштовими серверами може бути мережа будь-якого масштабу. Повідомлення перед переходом з одного серверу до іншого може проходити ряд проміжних серверів. Поштові сервери обмінюються повідомленнями в автоматичному режимі, причому маршрут руху повідомлень в мережі вибирається маршрутизаторами.

Коли повідомлення поступає на сервер призначення, адресат при черговому з'єднанні з сервером одержує повідомлення про

надходження пошти і йому не потрібно постійно залишати включеним свій комп'ютер. Підключитися до мережі він зможе у будь-який момент, коли побажає одержати або відправити повідомлення. Такий режим роботи називається *Mine*.

За лічені хвилини повідомлення електронної пошти потрапляє до адресата, який може бути в тому ж самому місті або за океаном.

Швидкість передачі повідомлень обмежується в основному пропускною спроможністю ліній зв'язку між комп'ютерами. Якщо комп'ютер підключається до лінії через модем і телефонну лінію, то найважливішим чинником обмеження швидкості обміну буде якість вітчизняної телефонної лінії. **Швидкість обміну** може бути **від 57600 бит/с** (для великих міст і сучасних АТС) **до 2400 бит/с** (для застарілих ліній зв'язку).

Протоколи електронної ПОШТИ

Для відправлення і отримання електронних повідомлень **в мережі Internet використовуються певні протоколи.**

➡ **SMTR** (Simple Mail Transfer Protocol), призначений для відправлення повідомлень. Реалізовано пряме доставляння повідомлення адресату. Відправлені користувачем повідомлення поступають на SMTR-сервер провайдера, який обробляє первинну пошту.

➡ **POP** (Post Office Protocol) різних версій (POP2 — RFC-937, POP3 — RFC-1725) виконують аналогічні функції. Вони призначені для читання повідомлень з сервера для ПК. Ці протоколи працюють в off-line режимі, тобто головні операції з поштою виконує локальний комп'ютер після її надходження з поштового сервера. Під час сеансу POP2 користувач послідовно одержує повідомлення про кількість наявних листів, їхній обсяг. Він може прочитати лист, а потім його знищити або ж зберегти на сервері.

➡ **IMAP** функційно наближений до POP і дає змогу користувачу працювати з віддаленим сервером електронної пошти. На відміну від POP, IMAP може працювати в режимі on-line. Це означає, що головні операції над поштою виконуються безпосередньо на сервері. У цьому випадку забезпечене централізоване збереження поштової інформації та пов'язані з цим

зручності оновлення, вірогідності, колективного використання, цілісності тощо.

Провайдер послуг Internet для роботи з електронною поштою має, як правило, два сервери - SMTR і POP3. ***Сервер SMTR відповідає за відправлення повідомлень, а сервер POP3 - за їх прийом.***

Адреса електронної пошти, ім'я поштового серверу

Повідомлення електронної пошти знаходить свого адресата за допомогою поштової адреси (E-mail).

Ця адреса складається з двох частин, розділених значком @:

- ліва частина адреси - це ***локальне ім'я користувача;***
- права частина - ***ім'я домену.***

Наприклад

XNADU_XADI@mail.ru

5.2. Інструментальна ГІС ArcInfo

Програмний продукт ARC/INFO – це одна з перших професійних ГІС, орієнтована на роботу з просторовою інформацією, що зберігається в базі даних. В результаті її впровадження відбувся справжній переворот в цифровій картографії і в способах роботи з просторовою інформацією. ARC/INFO складається з базового комплекту програм і додаткових модулів, які можна отримувати окремо як додаток до базового комплекту. Базовий комплект програмного забезпечення є повнофункціональною ГІС для роботи в різних прикладних областях. Він підтримує весь цикл робіт із створення і використання ГІС- від введення даних і їх редагування до організації інформаційних запитів, аналізу просторової інформації і підготовки чистової картографічної продукції у вигляді твердих копій. На рис. 5.11 представлений інтерфейс ГІС ARC/INFO.

ARC/INFO версії 7.2. для ПК з операційним середовищем Windows включає наступні модулі COGO, GRID, TIN, NETWORK, ARCSAN, ARCEXPRESS, ARCPRESS, ARCSTORM, ARCFM, ARCSDE.

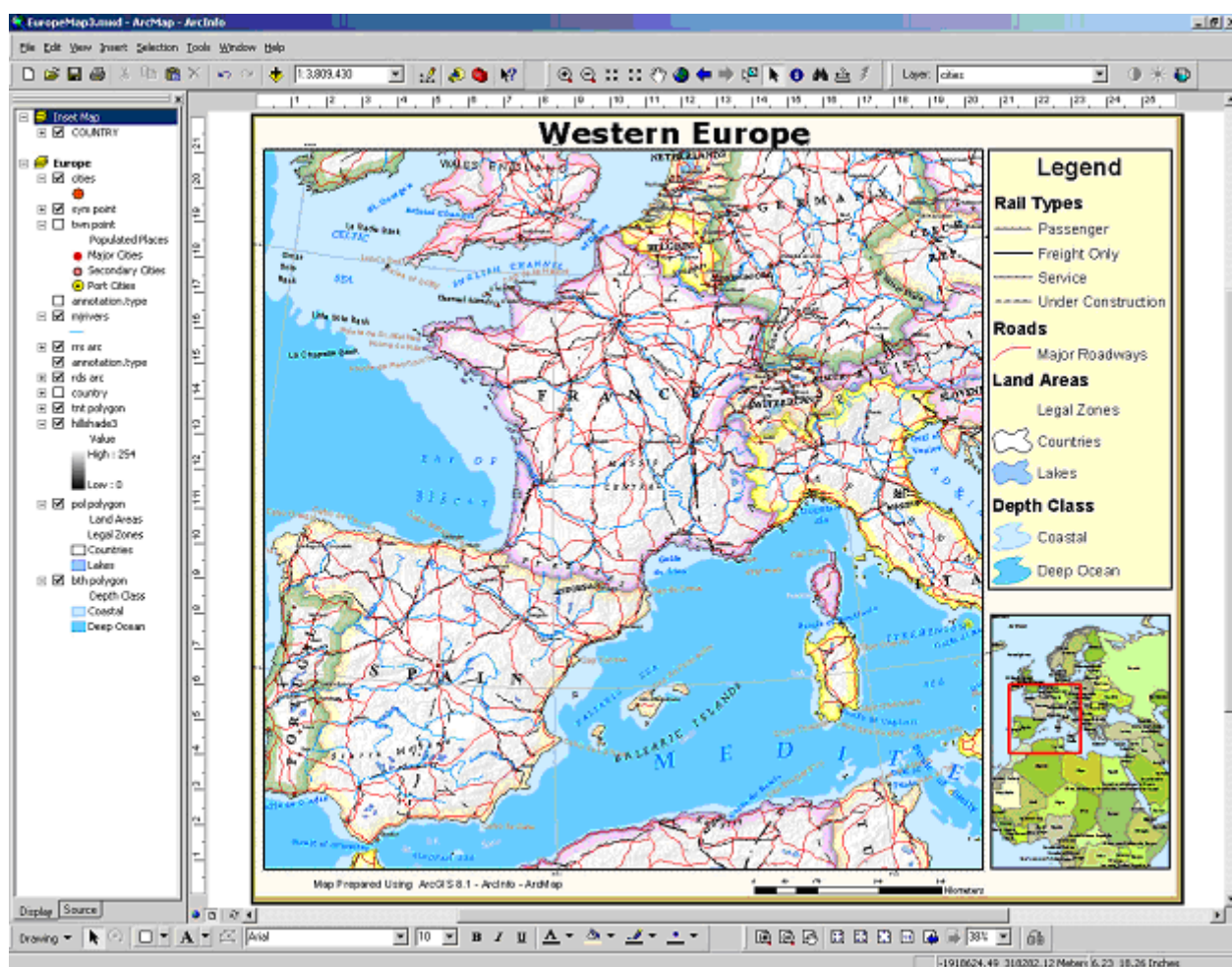


Рис.5.11. Інтерфейс програми ARC/INFO.

Програмне забезпечення ARC/INFO включає засоби для створення карт і їх редагування, введення і перетворення даних, управління картографічними базами даних (рис.5.12), накладення карт і просторового аналізу, діалогового відображення і запиту адресного геокодування, моделювання поверхонь і їх відображення, побудови карт за даними геодезичної зйомки, розв'язання задач земельного кадастру, управління розподілом земельних ділянок, тощо.

Для ARC/INFO характерна множинна відвертість. Її функції однакові при роботі під ОС UNIX і Windows. Істотним кроком до відвертості є додавання в систему модуля ODE (Open Development Environment) – відкритого середовища розробки, який дозволяє використовувати стандартні середовища програмування, такі як Visual Basic, Visual C++, Delphi, Power Builder на платформі Windows і C, Motif, Tcl/Tk – на платформі UNIX, для створення власних інтерфейсів і наборів функцій для роботи з ГІС.

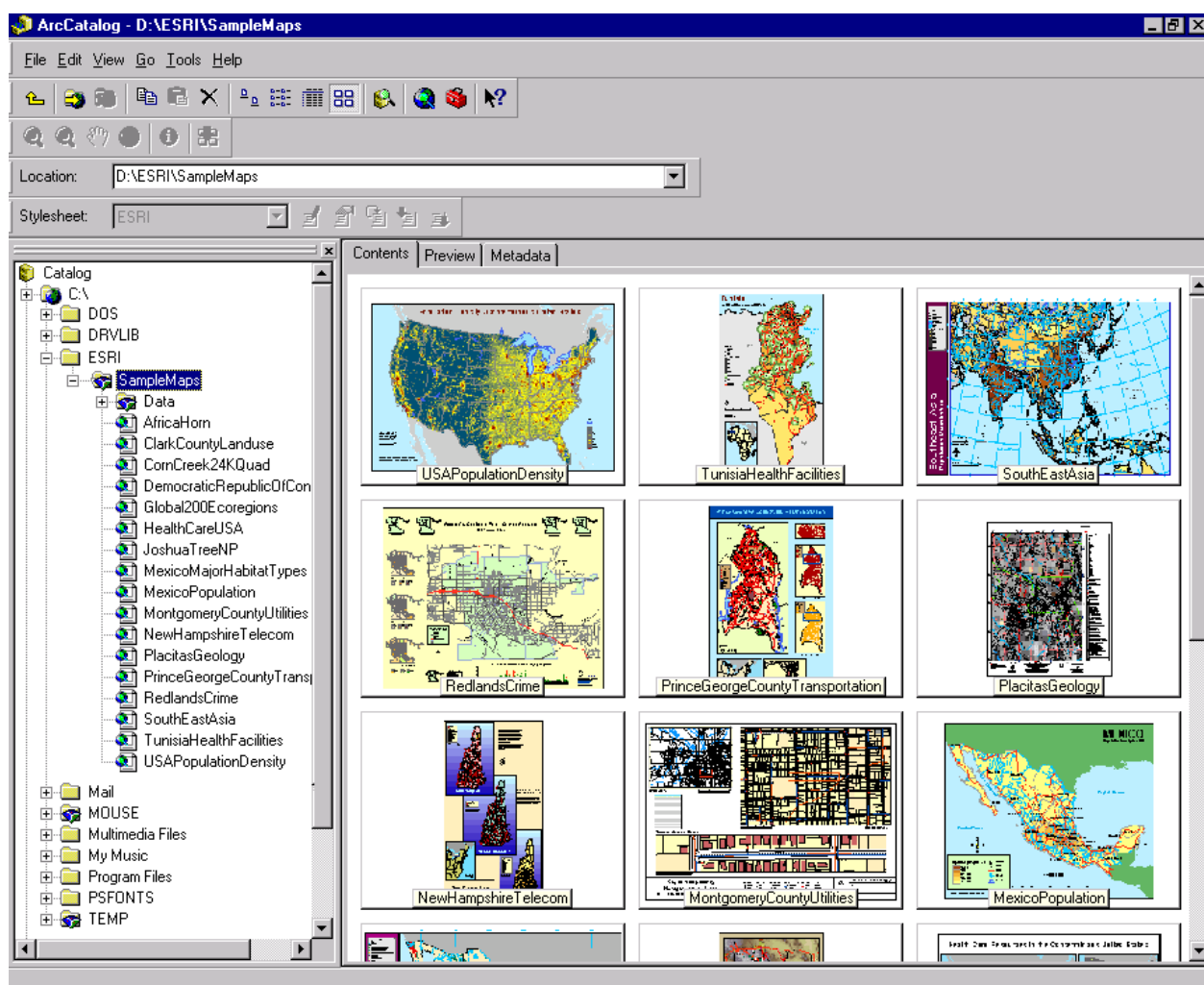


Рис.5.12. Каталог картографічної інформації ARC/INFO.

Вимоги до ПК для роботи з ARC/INFO: ОС Windows 2000/XP, 32 Mb RAM (мінімум), вільна пам'ять на диску: NTFS - 365Mb, RAM/FAT - 440 Mb, page files - 100Mb (мінімум). Рекомендуються процесори починаючи від Pentium 133, 32Mb відеопам'яті, HDD 10-20 Gb, хороший великий монітор.

Програмне забезпечення (ПЗ) ARC/INFO здатне використовувати “плаваючі робочі місця”. Це дозволяє оптимально розподіляти обчислювальні ресурси серед користувачів ГІС в мережі.

ПЗ ARC/INFO робочих станцій дозволяє управляти розподілом географічної інформації по мережі і в той же час, підтримувати цілісність бази даних. До складу ARC/INFO, починаючи з версії 7.0, входить менеджер просторових баз даних ARCSTORM. Використання ARCSTORM дозволяє забезпечити одночасний доступ великого числа користувачів в мережі до картографічних баз

в режимі одночасного редагування карт, а не тільки в режимі отримання інформації. ARCSTORM забезпечує блокування на рівні картографічних об'єктів, а не листів карти, причому одночасно блокуються і типологічно пов'язані з редагованим об'єктом і записи в таблицях атрибутів, у тому числі і ті, що знаходяться у зовнішній по відношенню до ARC/INFO базі даних. ARCSTORM також дозволяє відстежувати всю історію змін в картографічній базі даних, як графічних об'єктів, так і їх атрибутів. Є можливість повернення до одного з попередніх станів бази даних. Це особливо корисно для таких задач, як земельний кадастр, управління розподілом земельних ділянок, тощо.

Модуль DATABASE INTEGRATOR системи ARC/INFO для робочих станцій забезпечує зв'язування картографічних даних з табличними даними в наймогутніших реляційних СУБД.

Таким чином, користувач геоінформаційної системи ARC/INFO має нагоду використовувати для зберігання атрибутивної інформації не тільки вмонтовану СУБД, що входить в комплект поставки ARC/INFO, але і такі СУБД як Oracle, Ingres, Informix, Sybase. Підключення до баз даних в цих системах відбувається на рівні призначених для користувача команд без необхідності програмування. Крім вказаних систем, за допомогою спеціальних засобів розробника можливе підключення і інших зовнішніх SQL СУБД.

ARC/INFO для робочих станцій є одночасно як системою для кінцевого користувача ГІС із зручним графічним інтерфейсом, діалоговими системами меню і системою контекстних підказок, так і могутнім інструментальним засобом розробника. Програмне забезпечення ARC/INFO для робочих станцій включає ГІС-мову четвертого покоління AML. Користувач легко і швидко може створювати власні макрокоманди і зручні багатовіконні інтерфейси і меню, а також розробляти власні складні прикладні системи для розв'язання специфічних задач. Розробник може, наприклад, реалізувати в середовищі ARC/INFO свої математичні моделі складних процесів, таких як розповсюдження забруднення в природному середовищі або розвитку лісової пожежі, так що користувач матиме нагоду інтерактивно працювати з цією моделлю, використовуючи картографічне представлення для відображення

результатів і управління моделлю. Користувачі можуть застосовувати піктограми, кнопки вибору і управління, прокрутку та інші графічні засоби.

Пакет включає вдосконалений призначений для користувача інтерфейс ARCTOOLS, який працює за допомогою екранних форм меню. З версії 7.0 добавлені нові засоби ARCTOOLS для цілей редагування, запиту/перегляду даних, мережного моделювання поверхонь, моделювання на регулярній сітці. Оскільки весь графічний інтерфейс реалізований на макромові ARC/INFO AML, і користувачу надається бібліотека відправних текстів цих макросів, то при необхідності інтерфейс може бути адаптований і розширений для спеціально розроблених додатків.

З версії 7.0 модель даних ARC/INFO розширена для підтримки класу узагальнених об'єктів, а саме площадкових об'єктів, званих регіонами. Регіони нагадують концепцію “маршруту”, що використовується в ARC/INFO для групування ліній. Регіони дають можливість прямого моделювання полігонів і класів множинних площадкових об'єктів, які мають загальні геометричні частини, що перекриваються, без необхідності перебудови топології і виконання оверлейних операцій.

З версії 7.0 розширені можливості модуля ARCEDIT. Удосконалення включають: пряме редагування полігонів і регіонів (областей), інтерактивна побудова топології, поліпшені засоби редагування трас, безпосередній візуальний зворотний зв'язок з динамічним переміщенням графічного курсору, можливість редагування груп об'єктів протягом виконання однієї операції. Ці розширення спрощують використання ARCEDIT і прискорюють роботу.

ARC/INFO для робочих станцій дотримується сучасних обчислювальних стандартів і стандартів розробки програмного забезпечення, таких як:

- Структурне програмування;
- Операційні системи UNIX і Windows NT/2000/XP;
- Архітектура реляційної бази даних з SQL;
- Комунікаційні стандарти, такі як Ethernet, TCP/IP, NFS, NCS, SNA;
- Макромова AML – ГІС-мова четвертого покоління;

- Стандарти обміну даними – Digital Line Graphs (DLG), Integrated Geographic Encoding and Referencing (TIGER), Dual Independent Map Encoding (DIME), PostScript, AutoCAD Data Exchange File (DXF) та інші;
- Підтримка технологічного стандарту графіки для всіх сучасних терміналів, дигитайзерів, і відповідної графічної периферії з використанням стандартів VCGL, HPGL, HPGL2 та інші;
- Інтеграція з передовими комерційними системами управління базами даних за допомогою DATABASE INTEGRATOR.

Модуль ARC/INFO COGO. Модуль напряму зв'язує технологію ГІС з програмними засобами, що використовуються для управління земельним кадастром, даними геодезичних зйомок, контролю за паспортами земельних ділянок, складання карт - основ для інженерних і кадастрових цілей. Модель даних ARC/INFO COGO розширює визначення лінії, кривої, точки і області для включення описової інформації, такої як вимірювання відстані, кут, азимут і площа. Ця інформація стає атрибутом лінії, кривої, площі або точки.

За допомогою ARC/INFO COGO можна проводити наступні роботи:

- Управління земельним кадастром;
- Оцінка власності;
- Створення базових карт для кадастрів і інженерних цілей;
- Контроль за розвитком.

Модуль ARC/INFO GRID. Цей модуль призначений для розширення можливостей растрового моделювання в системі ARC/INFO і перетворює її на інтегровану растрово-векторну ГІС. GRID надає могутній набір інструментів для аналізу і маніпулювання безперервно розподіленими ознаками, числовими і якісними, які можна ефективно представляти у вигляді регулярних моделей.

Модуль GRID може бути використаний в таких областях як комплексний аналіз безперервних ознак і моделювання складних процесів. GRID може застосовуватися в області гідрологічного аналізу, геологічного прогнозування, аналізу відстаней, багатовимірний статистичний аналіз просторових даних, оптимізація вибору траси з використанням вартісної поверхні.

Модуль ARC/INFO TIN. Цей модуль є функціонально повною системою моделювання топографічних поверхонь для аналізу і відображення безперервних географічних явищ, наприклад, рельєфу місцевості, а також фізичних поверхонь, таких як рівень шуму, щільність населення, геофізичні поля.

Назва TIN розшифровується як нерегулярна триангуляційна мережа (Triangulated Irregular Network). Модель даних TIN є найзручнішим і ефективним способом представлення поверхонь в тривимірному просторі і забезпечує високу ефективність вживання TIN. Вона повністю інтегрована в середовище ARC/INFO, поверхні можуть бути побудовані як у вигляді триангуляційної мережі, так і у вигляді регулярної матриці точок з використанням у якості початкових даних уздовж нерегулярної мережі точок, дані, задані у вигляді карт ізоліній та інші.

Модуль ARC/INFO NETWORK. Модуль NETWORK призначений для роботи з мережами типологічно зв'язаних об'єктів (трубопроводи, лінії комунікацій, водотоки і дороги), щоб максимально ефективно оцінювати і управляти ресурсами, розподіленими по мережах і процесами в таких мережах. Модуль служить могутнім аналітичним засобом для моделювання реальних мереж, таких як вулиці, трубопровідні системи, телефонні лінії і лінії електрозв'язку; для пошуку об'єкту за його адресою (прив'язка табличних даних до географічних об'єктів). Модуль забезпечує виконання двох основних категорій функцій: просторовий аналіз географічних мереж і пошук об'єкту за його поштовою адресою (адресне геокодування). NETWORK дозволяє: розраховувати оптимальні маршрути руху транспорту, місця розміщення об'єктів, оптимізувати районування з урахуванням доступності територій і об'єктів по дорожній мережі.

Модуль ARC/INFO ARCSCAN. ARCSCAN призначений для введення картографічних даних зі сканерів. Включає засоби створення векторної бази даних шляхом сканування растрових зображень, попередньої обробки растрових зображень, растрово - векторний редактор, інтерактивний конвертор з растрової форми у векторну, виведення растрових зображень на периферійні пристрої і у файли форматів.

Модуль ARC/INFO ARCPRESS. Це програмний растреризатор – система, що перетворює векторну, растрову або змішану векторно-растрову графіку у формат растрового пристрою виведення, растр заданого дозволу і розміру. Цей продукт, по суті, є незалежною системою, а не модулем розширення ARC/INFO, хоча ліцензіюється за тим же принципом, що і ARC/INFO. ARCPRESS забезпечує швидке, в більшості випадків в рази, і більш якісне друкування растрових і растрово-векторних карт і зображень на растрових пристроях виведення типу струменевих і електростатичних плоттерів. З векторними (пір'яними) плотерами ARCPRESS не працює.

Модуль ARC/INFO ARCSDE. ARCSDE – забезпечує розраховану на багато користувачів роботу з великими об'ємами просторових даних. До складу ARCSDE входить програма Spatial Database Engine (SDE) для систем управління реляційними базами даних і сервер SDE for Coverages для роботи з shapefile, покриттями і даними, які підтримуються в підсистемі управління просторовими даними ARC/INFO LIBRARIAN і модулі ARCSTORM.

ARCSDE дозволяє більш ефективно працювати з масивами накопичених в ARC/INFO даних, використовуючи відкриту технологію SDE з доданими функціями доступу інших клієнтів до баз даних. Через ARCSDE всі користувачі ARCVIEW GIS, MapObjects і AutoCAD можуть звернутися до даних всіх типів, які підтримуються продуктами ESRI. SDE підтримує роботу в режимі клієнт/сервер в неоднорідних мережах через протокол TCP/IP.

5.3. Програмний пакет ARCVIEW GIS 3.1

ARCVIEW GIS – система, яка призначена для відображення, редагування, просторового аналізу, пошуку і управління геопросторовими даними. Це програмний засіб, як і ARC/INFO, розроблений фірмою ESRI. На рис.5.13 показаний інтерфейс програми ARCVIEW GIS.

Багато користувачів програмних продуктів ESRI для побудови і управління своїми географічними базами даних використовують ARC/INFO, а для розширеної візуалізації даних і їх аналізу застосовують ARCVIEW. Для подальшого спрощення взаємодії цих двох продуктів в ARCVIEW GIS 3.1 додані нові лінійні символи,

призначені для кращої сумісності картографічних відображень ARC/INFO і ARCVIEW. Крім того, тепер можливий імпорт в ARCVIEW багатошарових і складних лінійних символів, що є в ARC/INFO.

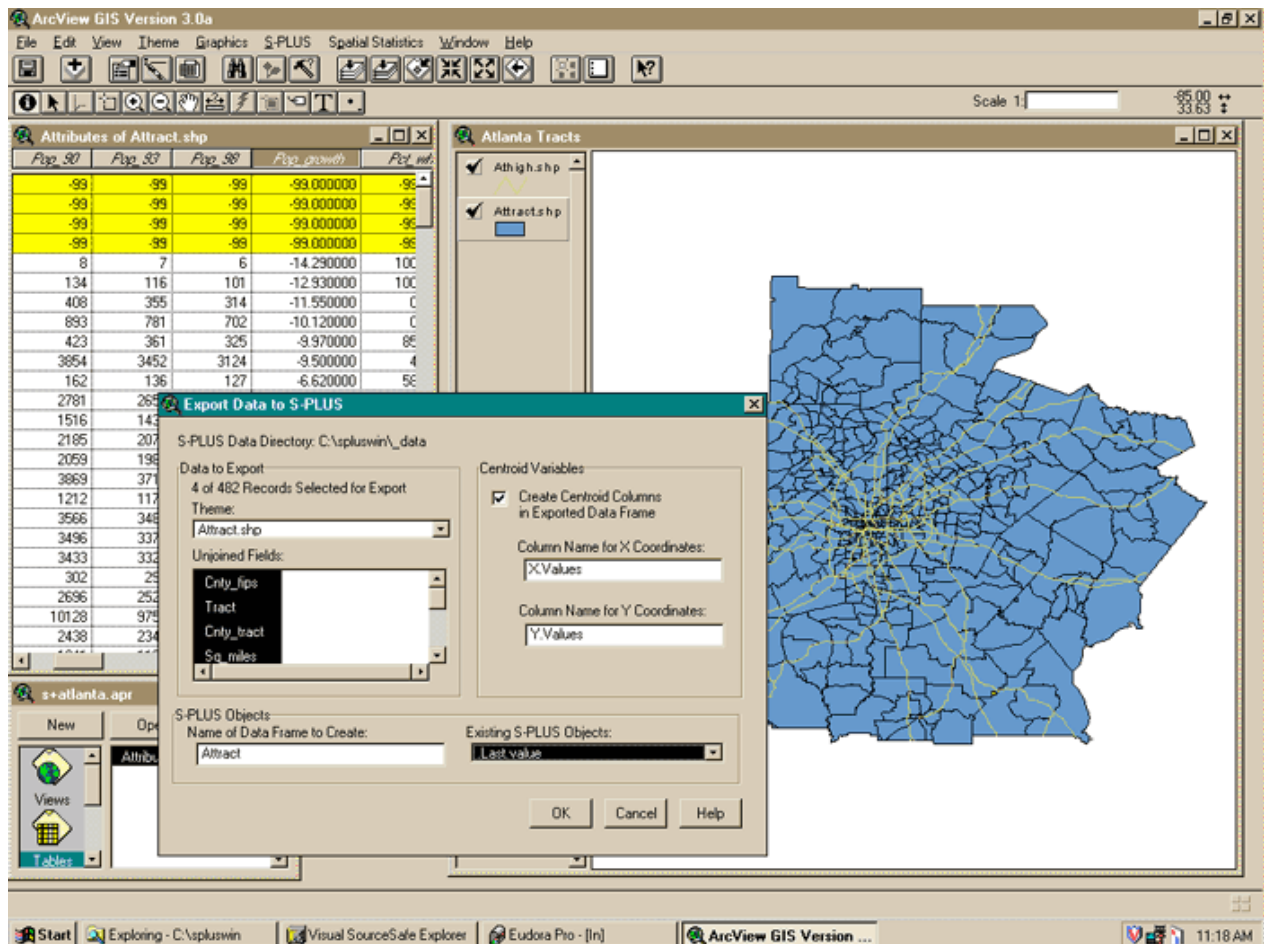


Рис.5.13. Інтерфейс програми ARCVIEW GIS.

Одна з привабливих особливостей ARCVIEW GIS – включення в пакет програм – майстрів (програми, які допомагають користувачу за декілька кроків виконати заздалегідь визначену операцію). Ці програми полегшують використання множини нових інструментів і корисні як для новачків, так і досвідчених користувачів. Додані інструменти для створення координатних сіток і рамок карти (управління інтервалами, типами ліній, типом рамок).

Засоби геообробки і аналізу ARCVIEW дозволяють проводити такі складні просторові операції з географічними даними як створення буферних зон навколо картографічних об'єктів, вирізка, злиття, перетин, об'єднання тем і присвоєння даних за місцезположенням.

До інших удосконалень відносяться розширення діапазону підтримуваних дат (в проміжку від 5 млн. 800 тис. років до нашої ери до 5 млн. 800 тис. років нашої ери, що іноді потрібне для геологічних, археологічних і других додатків), можливість оцифровки карт на дигитайзері в потоковому режимі.

Ключові особливості ARCVIEW GIS:

- зручний і зрозумілий інтерфейс;
- доступ до множин типів даних;
- об'єднання діаграм, карт, таблиць і графіки;
- могутні засоби візуалізації карт;
- посилена функціональність створення звітів;
- оновлення даних “на льоту”;
- виняткові можливості аналізу;
- адресне геокодування;
- розвинене середовище редагування;
- інтеграція знімків, картографічних даних, даних САПР, таблиць і SQL баз даних;
- клієнт/серверний доступ до сховищ даних;
- вмонтована програма швидкого навчання;
- прості у використанні інструменти створення тексту і розміщення написів;
- повна налаштуваність;
- власне вмонтоване середовище розробки Avenue;
- вмонтована система інтерактивної довідки.

5.4. Інструментальна ГІС MapInfo

Система MapInfo дозволяє відображати різні дані, що мають просторову прив'язку. Вона відноситься до класу Desktop GIS.

Відмітна особливість MapInfo - універсальність. Система дає можливість створювати інтегровані геоінформаційні технології Intergraph і MapInfo для DOS, Windows, Windows NT, UNIX, геоінформаційні системи, цифрові картографічні системи, програмні і технічні засоби формування і аналізу геоінформаційних баз даних.

У систему закладені наступні можливості:

- методи аналізу даних в реляційній базі даних;

- пошук географічних об'єктів;
- методи тематичного зафарбовування карт;
- методи створення і редагування легенд;
- підтримка широкого набору форматів даних;
- доступ до віддалених БД і розподілена обробка даних.

MapInfo дозволяє одержувати інформацію про місцеположення за адресою або ім'ям, знаходити перетини вулиць, меж, проводити автоматичне і інтерактивне геокодування, проставляти на карту об'єкти із бази даних. Форма представлення інформації в системі може мати вигляд таблиць, карт, діаграм, текстових довідок. Система дає можливість проводити спеціальний географічний аналіз і графічне редагування. При цьому система команд і повідомлення представляються як на російській мові, так і на інших мовах. Модулі системи включають обробку даних геодезичних вимірювань, векторизацію і архівацію карт, схем, креслень, перетворення картографічних проекцій, поєднання просторових даних.

Програмні комплекси функціонують на різних платформах.

MapInfo Professional – повнофункціональна геоінформаційна система включає:

- MapBasic – середовище програмування для MapInfo Professional;
- MapInfo SpatialWare – технологія управління просторовою інформацією в БД SQL Server/Informix;
- MapInfo MapX – бібліотека розробника додатків;
- MapXtreme – програмне забезпечення для розробки картографічних додатків для Intranet або Internet.

На додаток до традиційних для СУБД функцій, ГІС **MapInfo Professional** дозволяє збирати, зберігати, відображати, редагувати і обробляти картографічні дані, що зберігаються в базі даних, з урахуванням просторових відносин об'єктів (рис.5.14).

Джерелами даних MapInfo є:

- Обмінні векторні формати САПР і геоінформаційних систем: AutoCAD (DXF, DWG), Intergraph/MicroStation Design, ESRI Shape файл, ARC/INFO Export, а також растрові карти у форматах GIF, JPEG, TIFF, PCX, BMP, MrSID, PSD, ECW, BIL (знімки SPOT)

і GRID (GRA, GRD). В MapInfo можна відображати дані, одержані за допомогою GPS і інших електронних геодезичних приладів;

- Файли Excel, Access, xBASE, Lotus 1-2-3 і текстові, в яких окрім атрибутивної інформації можуть зберігатися координати точкових об'єктів;

- ГІС MapInfo може виступати в ролі “картографічного клієнта” при роботі з такими відомими СУБД, як Oracle і DB2, оскільки підтримує ефективний механізм взаємодії з ними через протокол ODBC. Більш того, доступ до даних з СУБД Oracle можливий і через внутрішній інтерфейс (OCI) цієї бази даних.

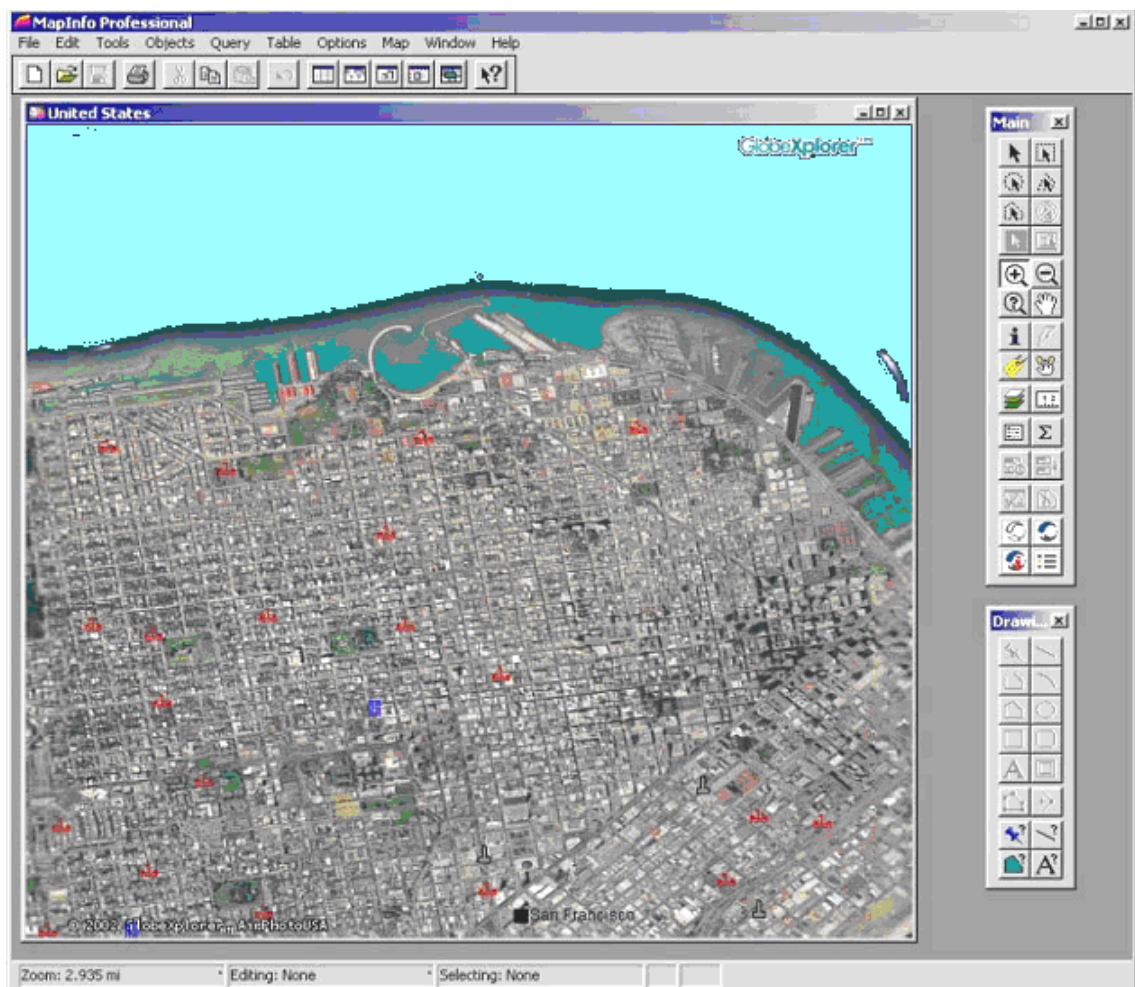


Рис.5.14. Інтерфейс ГІС MapInfo.

У одному сеансі роботи одночасно можуть використовуватися дані різних форматів. Вмонтована мова запитів SQL, завдяки географічному розширенню, дозволяє організовувати вибірки з урахуванням просторових відносин об'єктів, таких як віддаленість, вкладеність, перекриття, перетини, площі об'єктів, тощо. Запити до

бази даних можна зберігати у вигляді шаблонів для подальшого використання. В MapInfo є можливість пошуку і нанесення об'єктів на карту за їх координатами, адресами або системами індексів.

Способи представлення даних:

Карта і список. У вікні Карти доступні інструменти редагування і створення картографічних об'єктів, масштабування, зміни проекцій і інші функції роботи з картою. Пов'язана з картографічними об'єктами атрибутивна інформація зберігається у вигляді таблиць, дані з яких можна представити у вигляді графіків і діаграм різних типів.

Легенда. У вікні Легенди відображаються умовні позначення об'єктів на карті і тематичних шарах.

Звіт. У вікні Звіту надаються засоби масштабування, макетування, а також збереження шаблонів багатолистних карт. Працюючи з MapInfo, можна формувати і роздруковувати звіти з фрагментами карт, списками, графіками і написами. При друкуванні MapInfo використовує стандартні драйвери операційної системи.

Тематичні карти. Для наочного представлення і картографічного аналізу просторових даних в ГІС MapInfo використовується тематичне картографування. MapInfo пропонує наступні методи побудови тематичних карт: діапазони значень, стовпчикові і кругові діаграми, градуйовані символи, щільність точок, окремі значення, безперервна поверхня. Поєднання тематичних шарів і методів буферизації, районування, злиття і розбиття об'єктів, просторовій і атрибутивній класифікації дозволяє створювати синтетичні багатокомпонентні карти з ієрархічною структурою.

Інтеграція з іншими додатками

ГІС MapInfo відкриває великі можливості для розробників геоінформаційного програмного забезпечення. Використання сучасних методів взаємодії між Windows додатками дозволяє інтегрувати вікно Карти MapInfo в програми, написаними на мовах програмування Delphi, Visual Basic, C++, PowerBuilder та інших. Сумісне використання MapInfo і середовища розробки MapBasic дає можливість кожному створювати специфічні додатки для розв'язання конкретних прикладних задач.

5.5. AutoCad map 2000

Високоточне програмне забезпечення для створення цифрових карт і здійснення геоінформаційного аналізу, що включає всі функціональні можливості базового продукту AutoCAD. Містить всі необхідні засоби і ефективні функції для виготовлення картографічної основи і обробки географічної інформації, рис.5.15.

Підтримує будь-які графічні формати, здійснює експорт даних у всі популярні програми обробки географічної інформації. Забезпечує миттєве отримання додаткових даних для геоінформаційного проекту через мережу.

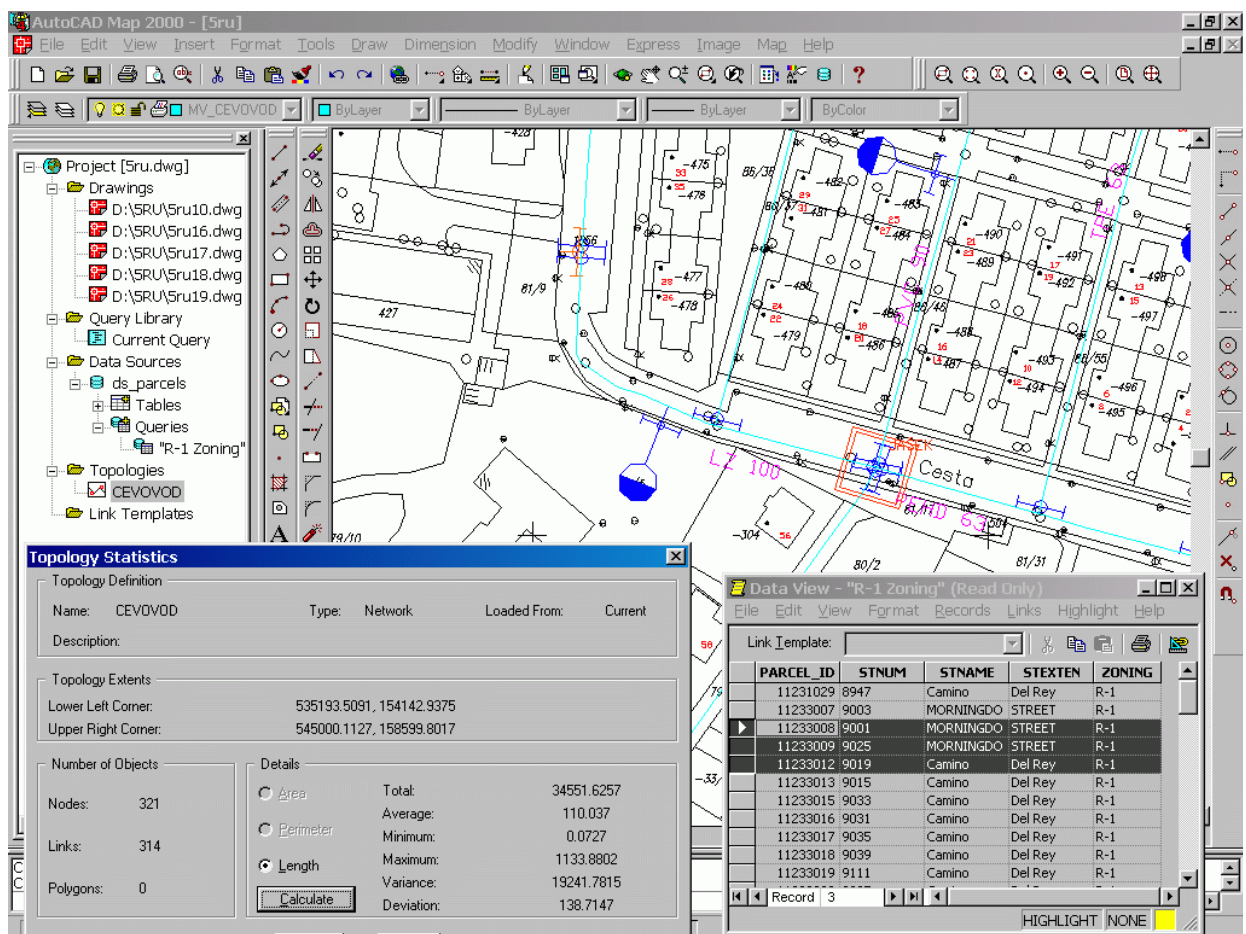


Рис.5.15. Робоче вікно програми AutoCAD Map 2000.

AutoCAD Map 2000 надає розробникам більше 2 тисяч глобальних координатних систем (більше 100 з них нові). AutoCAD Map 2000 дає найкращі інструменти для швидкого і точного сколювання карт з паперових носіїв. Сколювання карт значно прискорює переклад паперових карт в цифрову форму. Програмне забезпечення включає могутні засоби для формування запитів,

зміни властивостей, просторового аналізу і відмінне управління друком документів. Завдяки вмонтованим функціям Internet AutoCAD Map 2000 набув абсолютно нових можливостей.

AutoCAD Map - високоточне програмне забезпечення для фахівців в області картографії і геоінформаційних систем в поєднанні з необмеженим доступом до даних через мережу Internet. При розв'язанні геоінформаційних і картографічних задач AutoCAD Map опирається на могутні можливості базового продукту AutoCAD.

5.6. Інші ГІС – програми

CAD Raster Transformer 2000 - програма для роботи з картографічним растром. Raster Transformer - трансформація растрів – автономний пакет, що працює в середовищі Windows і призначений для компенсації спотворень будь-якої природи у відсканованих растрах.

ТОПОКАД 2000 – програма для роботи з цифровими моделями місцевості і топографічними планами. Програма ТОПОКАД є початковою ланкою крізної технологічної лінії ГІС. Після посадки растру на координати (наприклад, за допомогою Raster Transformer) ТОПОКАД може використовуватися в AutoCAD, де дозволяється працювати з растровою підкладкою, або сумісно з програмами векторизації, що працюють в середовищі AutoCAD. Пакет ТОПОКАД як спеціалізований топографічний редактор включає:

- засоби отримання карти в умовних знаках безпосередньо в процесі дигіталізації;
- могутні спеціалізовані засоби графічного редагування топографічних планів;
- функції для отримання геометричних параметрів (координат, відстаней, довжин, площ, кутів).

CAD RELIEF 2000 - програма для створення тривимірної моделі місцевості. Пакет CAD RELIEF працює як додаток програми AutoCAD і дозволяє фахівцю будувати тривимірну модель рельєфу поверхні у вигляді тривимірних граней і карти в ізолініях.

Унікальні особливості пакету в тому, що він дозволяє моделювання нерівних поверхонь. Пакет дозволяє доповнити

цифрові моделі місцевості (ЦММ) їх другим компонентом - цифровими моделями рельєфу (ЦМР), використовувати ці моделі для архітектурного моделювання і розв'язувати задачі вертикального планування. Окрім цього, він дозволяє розширити ГІС AutoCAD Map засобами аналізу поверхонь, одержаних на нерегулярній мережі точок, засобами побудови і TIN-аналізу полів (статистичних поверхонь) і візуалізації різної статистичної інформації у вигляді тематичних карт в ізолініях, наприклад, для задач екології.

ПЛАНИКАД 2000 – унікальний інструмент для роботи над Генпланами. Пакет програм ПЛАНИКАД призначений для проектування генеральних планів і вертикального планування об'єктів промислового призначення, міської забудови і інших об'єктів.

RGS - програма для обробки даних польових вимірювань. Програма RGS дозволяє розв'язувати задачі із розрахунку і зрівнюванню лінійно-кутових і висотних мереж, обробляти дані знімальних робіт, проводити розрахунки для винесення проекту в натуру, обчислювати площі ділянок, створювати банк даних опорних пунктів геодезичної мережі. Всі роботи, що виконуються в програмі, супроводжуються виведенням графічного зображення результатів розрахунку, яке можна експортувати в AutoCAD.

ГІС-конструктор - це набір прикладних програм для розв'язання задач земельного кадастру.

Пакет орієнтований для роботи з графічними, цифровими і текстовими документами.

Easy Trace є пакетом програм для напіваавтоматичної інтерактивної векторизації кольорових і чорно-білих растрових зображень, що працює під Windows.

MapEDIT і **MapEDIT PRO** – програми призначені для створення і редагування цифрових векторних карт за растровими зображеннями, які одержані в результаті сканування карт, планів, фотознімків з паперових, пластикових і інших твердих носіїв. В **MapEDIT PRO** додана можливість фотограмметричної обробки аеро- і космічних знімків.

ГАЗКАД – програма для розв’язання комплексу задач з експлуатації і розвитку газового господарства. Основні можливості комплексу:

- облік наявності, розміщення і характеристик стану газової мережі (у тому числі і проєктованих її ділянок);
- інформаційна і алгоритмічна підтримка (гідравлічні розрахунки) при підготовці технічних умов на підключення і при узгодженні проєктів;
- аналіз і відображення стану мережі при підключенні (відключенні) споживачів, проведенні регламентних ремонтних і аварійно-відновних робіт;
- аналіз стану захищеності газопроводів від корозії (інформаційне забезпечення і відображення).

CAD TELECOM – інформаційно-картографічна система для роботи з телефонними мережами і телекомунікаціями. CAD TELECOM є модулем інтегрованої системи автоматизації діяльності підприємства електрозв'язку. CAD TELECOM автоматизує технологію технічної експлуатації і розвитку телекомунікаційної мережі підприємства, технологію ведення, обліку лінійних споруд і лінійних даних.

Професійна ГІС КАРТА 2008. Професійний векторизатор. Панорама-редактор додатково комплектується комплексом геодезичних розрахунків призначеним для обробки даних топографо-геодезичних досліджень в камеральних умовах, нанесення результатів обчислень на електронну карту і формування звітних документів. Програмні засоби, що входять до складу геодезичного комплексу, дозволяють розв’язувати більшість задач, що стоять перед організаціями, що виконують польові роботи для складання великомасштабних планів і постановки земельних ділянок і об’єктів нерухомості на кадастровий облік.

У ГІС Карта 2008 передбачений набір функцій, орієнтований на обробку даних геодезичних вимірювань місцевості, виконаних як традиційними приладами (теодоліти, нівеліри, рулетки) із записом в польові журнали, так і електронними тахеометрами і супутниковими системами. В ході обробки вимірювань, одержаних будь-яким з вказаних засобів, виконується формування звітних

відомостей і картографування результатів розрахунків і зрівнювання.

Для обробки “сирих” вимірювань передбачена таблична форма введення даних з польового журналу. Зовнішній вигляд і порядок введення максимально наближені до традиційних форм заповнення польових журналів, обов'язкові поля для введення виділяються кольором. Програма обробляє файли даних в наступних обмінних форматах: RAW, SDR 33, R 4, R 5, M 5, REC 500, GTS-600, GTS-7 (GTS-700), 3Ta5, 3Ta5p, MOSS, GSI, DC1 (Pentax). Для завантаження у формат ГІС даних про пікети з текстових файлів з координатним описом точок вимірювань передбачена окрема задача, вона дозволяє обробляти вже готові координати. У результаті на карті будуть представлені точки і їх атрибути. Використовуючи функції основного і геодезичного редактора можна створювати додаткові точки за лінійними і кутовими вимірюваннями відносно тих, що вже є на карті об'єктів. По пікетах в автоматичному, напівавтоматичному або ручному режимі можна створювати площадні, лінійні, точкові об'єкти і підписи відповідно до існуючих умовних значків на основі цифрового класифікатора карти.

Для формування горизонталей за пікетами (точками з координатами X, E, H) призначена спеціальна прикладна задача і набір функцій редактора карти.

Автоматична розстановка підписів висот пікетів і створення підписів висот горизонталей в напівавтоматичному режимі дозволяють значно скоротити час на оформлення топографічних планів. Для остаточної підготовки планшетів до видачі споживачу достатньо виконати нарізку довільної (призначеної для користувача) електронної карти на планшети вказаного масштабу і виконати операції контролю, виправлення і зведення суміжних листів. Якщо необхідно роздрукувати карти, використовуються функції автоматичного формування зарамочного оформлення планшетів і підготовки великомасштабних планів до друку. Отримання друкарської копії карти можна виконати на будь-якому друкарському пристрої, стандартно встановленому в операційній системі.

Звіти створюються у форматі Microsoft Word, що дозволяє користувачу додаткові можливості щодо редагування одержаних документів. В системі є набір шаблонів звітних документів. В той же час, у користувача є можливість самостійно розробляти нові шаблони або виконувати гнучку настройку існуючих шаблонів звітних документів.

5.7. Територіальні рівні застосування ГІС

За сферою використання ГІС не мають собі рівних. Вони застосовуються в транспорті, навігації, геології, географії, військовій справі, топографії, економіці і т.д. Перехід до автоматизованих методів створення карт за допомогою ГІС має ряд переваг:

- підвищення точності картографічної інформації;
- скорочення трудовитрат на виготовлення продукції;
- збільшення продуктивності праці за рахунок автоматизації окремих операцій або виключення їх.

Методологічною основою процесів обробки інформації в ГІС є цифрове моделювання місцевості, об'єднуюче процеси збору первинної інформації, її моделювання і оновлення, обробки і формування документів.

За рахунок вживання сучасних технічних засобів здійснюється автоматизація польових і камеральних робіт.

Використання ГІС відбувається на різних рівнях. Це обумовлено різноманіттям геоінформаційних технологій.

Виділяють наступні територіальні рівні використання ГІС :

глобальний рівень - Україна на глобальному і європейському фоні, масштаб 1: 4 500 000 - 1 : 100 000 000;

всеукраїнський рівень - вся територія країни, включаючи прибережні акваторії Чорного і Азовського морів, прикордонні райони, масштаб 1:2 500 000-1:20 000 000;

регіональний рівень - крупні природні і економічні регіони, суб'єкти держави, масштаб 1 : 500 000 -1:4 000 000;

локальний рівень - області, райони, національні парки, ареал кризових ситуацій, масштаб 1 : 50 000 - 1 000 000;

муніципальний рівень - міста, міські райони, природні зони, масштаб 1 : 50 000 і крупніше.

Розділ 6. ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ КАРТОГРАФІЧНИХ ПРОЕКЦІЙ

6.1. Системи координат прийняті в ГІС

У теорії і практиці ГІС застосовуються просторові, криволінійні, плоскі прямокутні і полярні системи координат.

У довільній точці $Q(\varphi_0 \lambda_0)$ еліпсоїда проведемо нормаль QO' до цієї поверхні (рис.6.1), через яку можна провести незліченну множину нормальних перетинів. З них ми виберемо два головних: перетин, що співпадає з площиною меридіана PQP' , зване *меридіанним*, і перетин, ортогональний першому в точці Q , зване *перетином першого вертикала*. З урахуванням цього визначають і використовують різні системи координат: геодезичну, геоцентричну, топоцентричну, сфероїдичну (сферичну), ізометричну і локальні системи.

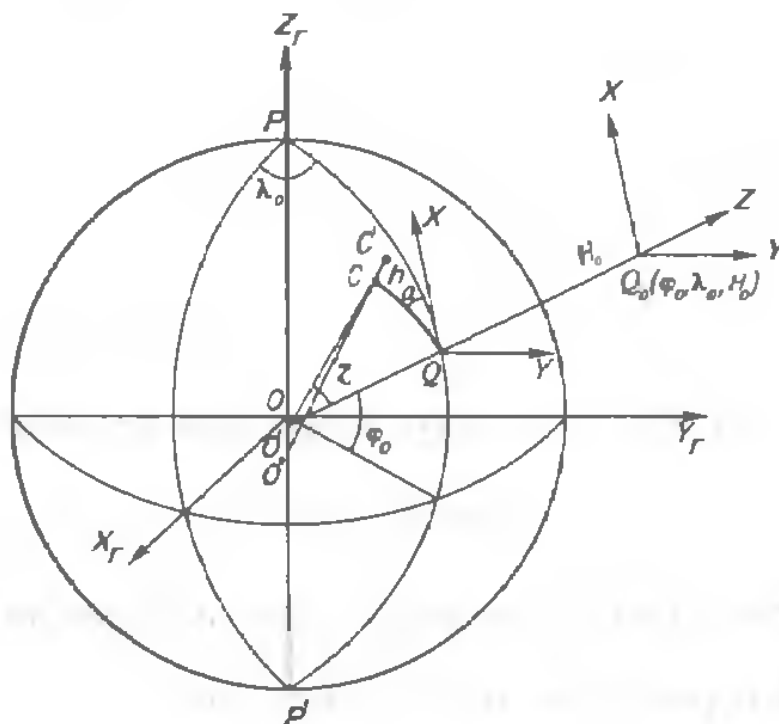


Рис.6.1. Топоцентрична горизонтальна і сфероїдна (сферична) полярні системи координат

У *геодезичній системі* визначаються геодезична широта точки φ - кут між нормаллю QO' до поверхні еліпсоїда в даній точці еліпсоїда Q і площини екватора та довгота цієї точки λ - двохгранний кут між площинами початкового меридіана і

меридіана даної точки. В просторовій геоцентричній системі координат $OX_r Y_r Z_r$ початок суміщений з центром мас Землі (з центром еліпсоїда обертання), вісь Z_r - направлена на середній північний полюс Землі, вісь X_r – в точку перетину Грінвічського меридіану з екватором, вісь Y_r – на схід.

Зв'язок геоцентричної і геодезичної системи координат виражається формулами:

$$\begin{aligned} X_r &= N \cos \varphi \cos \lambda; \\ Y_r &= N \cos \varphi \sin \lambda; \\ Z_r &= N \cdot (1 - e^2) \cdot \sin \varphi, \end{aligned}$$

де $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$ - радіус кривизни перетину першого вертикала

в даній точці;

a , e^2 – відповідно велика піввісь еліпсоїда обертання і квадрат першого його ексцентриситету.

Топоцентричною горизонтальною системою координат (рис.6.1) називатимемо систему, в якій початок суміщений з довільною точкою простору $QO(\varphi_0 \lambda_0, H_0)$, вісь X лежить в площині меридіана точки Q і направлена на північний (середній) полюс, вісь Z співпадає з нормаллю $O'QO$ до поверхні еліпсоїда в точці Q , вісь Y – доповнює систему до лівої.

Формули зв'язку топоцентричної і геодезичної систем координат мають вигляд:

$$\begin{aligned} X &= (N + h) \times [\sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)] + \\ &\quad + e^2 (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \cos \varphi_0; \\ Y &= (N + h) \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0); \\ Z &= (N + h) \times [\sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)] + \\ &\quad + e^2 (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \sin \varphi_0 - (N_0 + H_0), \end{aligned}$$

де φ , λ , φ_0 , λ_0 – відповідно географічні координати в поточних точках і точці полюса;

H_0 – висота точки полюса щодо поверхні еліпсоїда;

h – переривання точок.

У сферичній полярній системі координат

$$z = \text{const};$$

$$\alpha = \text{const},$$

де α - кути між нормальними площинами в точці полюса Q ;

z – кути між нормаллю $O'QO$ і напрямками в точці O' на поточні точки C , що лежать у відповідних нормальних площинах;

h – перевищення точок поверхні Землі (при відображенні поверхні еліпсоїда усі $h=0$).

З точністю до членів з e^4 одержуємо формули зв'язку полярних сфероїдичних і геодезичних систем координат:

$$\sin z \cos \alpha = t_1 + e^2 \tau [t_1 \sin \varphi - \cos \varphi_0] + \dots;$$

$$\sin z \sin \alpha = \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0);$$

$$\cos z = t_3 + e^2 \tau [t_3 \sin \varphi - \sin \varphi_0] + \dots,$$

$$\text{де } t_1 = \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0);$$

$$t_3 = \sin \varphi \sin \varphi_0 + \cos \varphi \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0);$$

$$\tau = \sin \varphi - \sin \varphi_0.$$

Ізометричну систему координат визначають при умові, щоб при рівності диференціалів ізометричних широт і довгот dq і $d\lambda$ відповідні їм нескінченно - малі дуги меридіанів $d\sigma_1$ і паралелей $d\sigma_2$, були також рівні, що має важливе значення при розробці і використанні ряду картографічних проекцій (рівнокутних).

Формула ізометричної широти точок еліпсоїда обертання має вигляд:

$$q = \ln V;$$

$$V = \frac{\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg}^e\left(45^\circ + \frac{\psi}{2}\right)};$$

$$\psi = \arcsin(e \sin \varphi).$$

Локальні системи координат функціонально пов'язані з прямокутною системою координат створюваної карти (моделі ГІС) і призначені для вирішення трьох основних задач:

1. Введення в пам'ять ЕОМ зображення з початкових картографічних матеріалів;

2. Побудови системи умовних знаків і безпосереднього математичного опису досліджуваних кривих;

3. Усунення (ослаблення) спотворень через деформацію паперу, не поєднання фарб при друці, помилок складання, тощо.

6.1.1. Система координат 1942 р. (СК-42)

Ця система пов'язана з відліковим еліпсоїдом Красовського. СК-42 і всі подальші уточнення - еліпсоїдні координати - геодезичні широта (**B**), довгота (**L**) і висота (**H**) пов'язані з декартовими прямокутними і прямолінійними координатами наступними формулами:

$$X = (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L;$$

$$Y = (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L;$$

$$Z = \left(\frac{b^2}{a^2} \cdot N + H \right) \cdot \sin B,$$

де **a** і **b** - півосі еліпсоїда;

$$N = \frac{a^2}{p};$$

$$p^2 = a^2 \cdot \cos^2 B + b^2 \cdot \sin^2 B$$

Початок координат **X**, **B**, **Z** співпадає з центром відлікового еліпсоїда. Еліпсоїд орієнтований так, щоб його мала вісь була паралельною середньому положенню осі обертання Землі, а площини початкових астрономічного, Грінвічського, і геодезичного меридіанів паралельні. Геодезичні широти **B** доповнюють до 90° кут між нормаллю до еліпсоїда і його малою віссю, довготи відлічують від початкового меридіана.

Велика піввісь еліпсоїда (екваторіальний радіус) $a=6378245\pm40\text{м}$, стиснення $1:298,3\pm0,8$.

Геодезичні широта і довгота початкового пункту астрономо-геодезичної мережі, Пулковської обсерваторії, були прирівняні до астрономічних широти і довготи. Прийнято, що в цій точці схил співпадає з нормаллю до еліпсоїда, і, отже, астрономічні азимути дорівнюють геодезичним. Нормальні висоти відлічені від Кронштадтського футштока; висота квазігеоїда в цій точці прийнята рівною нулю.

6.1.2. Система координат WGS-84

WGS-84 (світова геодезична система) - геоцентрична супутникова навігаційна система.

Початковий пункт системи OXYZ розташований в центрі мас Землі з орієнтацією загального земного еліпсоїда (ОЗЕ) уздовж головних осей Землі: вісь OZ направлена уздовж осі обертання Землі у бік Північного полюса, вісь OX лежить на перетині площин екватора і Грінвічського меридіана, вісь OY доповнює систему координат до правої. Розміри земного еліпсоїда (константи) вказані в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Константи СК WGS-84, ПЗ-90

Фундаментальні константи	WGS-84	ПЗ	Установлені комісією МАГ
Швидкість світла			299 792 458 м/с
Кутова швидкість обертання Землі			7 292 115·10 ⁻¹¹ рад/с
Геоцентрична гравітаційна постійна	398600,5·10 ⁹ м ³ /с ²	398600,44·10 ⁹ м ³ /с ²	(398600441,8±0,8) ⁶ м ³ /с ²
Велика піввісь еліпсоїда	6 378 137 м	6 378 136м	(6 378 136,6±0,1) м
Полярне стиснення	1: 298,257223563	1: 298,257839303	1: 298,25231 ± 0,00001
Нормальний потенціал		62636861,074 м ² /с ²	(62636857,0±1,0) м ² /с ²
Нормований зональний гармонійний коефіцієнт гравітаційного потенціалу	-484,16685·10 ⁻⁶	-484,164953·10 ⁻⁶	-

Узгодження системи координат, зв'язаної з ефемеридами супутникової навігаційної системи регулярно здійснюється так, що за наслідками спостережень на постійно діючих станціях світової мережі GPS для геодинаміки (IGS- International GPS Service for Geodynamics), координати пунктів якої визначені в СК WGS-84, визначаються ефемериди супутників GPS. В процесі багаторічних

спостережень з використанням лазерної локації супутників і радіоінтерферометрії уточнюються координати станцій стеження IGS. Ці уточнення періодично приймаються у якості більш сучасних і точних реалізацій СК WGS-84. У свою чергу і поточні ефемериди супутників GPS визначаються у відповідних реалізаціях WGS-84.

Наприклад, ITRF 96 – це система координат WGS-84, скоректована на дані, накопичені до 1996р. Таким чином, ITRF є сукупністю координат і швидкостей переміщення станцій глобальної супутникової мережі GPS для геодинаміки. Ця координатна основа реалізується щорічно за даними супутникових спостережень на більш ніж 150 станціях, з точністю порядку 12 см. Міжнародна служба GPS для геодинаміки регулярно забезпечує ITRF точними ефемеридами супутників і іншими необхідними даними. Багато держав, зокрема, європейські, використовують дані ITRF для встановлення власних національних геодезичних систем, а також для вивчення рухів, деформацій земної поверхні і змін рівнів морів. Одним з основних результатів діяльності IGS є точні ефемериди супутників глобальних навігаційних систем, що визначаються в даний час з помилкою порядку 0,1 - 0,2 м.

6.1.3. Система координат ПЗ-90

Ця геоцентрична система OXYZ, орієнтована аналогічно WGS-84, призначалася для функціонування навігаційної супутникової системи ГЛОНАСС (Росія).

Відліковою поверхнею є еліпсоїд обертання - загальний земний еліпсоїд (ЗЗЕ), параметри якого приведені в таблиці 6.1.

З 1985р. в ССРСР (Росії) функціонує спеціальний космічний геодезичний комплекс (КГК) ГЕОІК, за допомогою якого здійснюються далекомірні траєкторні спостереження в КГМ (космічна геодезична мережа) і альтиметричні вимірювання морської поверхні. До 1988-1989рр. була накопичена вимірювальна інформація КГК ГЕОІК, за допомогою якої у ВТУ ГШ МО була введена координатна система «Параметри Землі 1990р».

Носіями цієї системи є пункти КГМ (26 таких пунктів розташовані на території колишнього СРСР).

Виведення системи параметрів гравітаційного поля Землі (ГПЗ) було здійснене за сукупністю гравіметричних, супутникових і

астрономо-гравіметричних даних. ГПЗ ПЗ-90 представлене у вигляді параметрів нормального і аномального полів. Нормальне поле представлене в двох формах:

- у вигляді нормованих гармонійних коефіцієнтів нормального потенціалу;
- у вигляді системи точкових мас (параметри семи точкових мас строго узгоджені з гармонійними коефіцієнтами нормального потенціалу).

Аномальне гравітаційне поле Землі було представлене в трьох варіантах:

- у формі нормованих коефіцієнтів розкладання геопотенціалу в ряд за сферичними функціями до 36 ступеня і порядку;
- у формі параметрів системи 320 точкових мас;
- у формі параметрів 60 точкових мас.

На основі цих моделей в 1993р. була одержана модель ГПЗ ПЗ-90 у вигляді коефіцієнтів розкладання геопотенціалу за сферичними функціями до 200-го ступеню і порядку, а також створені детальні каталоги висот квазигеоїду над загальним земним еліпсоїдом.

Точність представлення ГПЗ коефіцієнтами до 200-го ступеню характеризується середньою квадратичною помилкою висот квазигеоїду над загальним земним еліпсоїдом по всій Землі в середньому 2м, системою 320 точкових мас і коефіцієнтами до 36-го ступеню - 3 м, системою 60 точкових мас - 4 м.

У ЦНІГАІК в 1999 році була виконана спеціальна робота за визначенням параметрів зв'язку між системами WGS-84 і ПЗ-90. Параметри переходу від системи координат WGS-84 до її більш пізніх реалізацій, ITRF, мають малі величини, що визначаються з високою точністю. Як виявилось в результаті досліджень, подібні уточнення для СК ПЗ-90 не виконувалися.

У системі ПЗ-90 координати станцій стеження системи ГЛОНАСС були визначені шляхом їх геодезичної прив'язки до пунктів КГМ. Згодом, при продовженні спостережень за допомогою ГЛОНАСС координати станцій стеження, з використанням цих спостережень, утворили особливу внутрішню узгоджену систему координат. Внаслідок цього система координат ПЗ-90 стала мати дві реалізації:

- умовно позначену ПЗ-90 (КГМ) із зафіксованими в основній реалізації пунктами КГМ;
- умовно позначену ПЗ-90 (ГЛОНАСС), зафіксовану координатами станцій стеження і відповідними ефемеридами ШСЗ ГЛОНАСС.

Для визначення параметрів зв'язку WGS-84 з цими двома реалізаціями ПЗ-90 ЦНІІГАІК за участю інших організацій виконав супутникові спостереження ГЛОНАСС і GPS на 9 пунктах, розташованих приблизно рівномірно на території Росії. В результаті з досить високою точністю були визначені параметри зв'язку двох реалізацій ПЗ-90 і WGS-84. Виявилося, що ПЗ-90 (КГМ) має розворот навколо осі Z по відношенню до WGS-84 близько $0,18''$, а ПЗ-90 (ГЛОНАСС) $0,36''$, тобто між собою ці дві реалізації ПЗ-90 мають розворот близько $0,18''$. Це приводить до зсувів на поверхні Землі для території Росії від 4 до 6 метрів. Крім того, є істотні відмінності масштабів між системами координат WGS-84 і ПЗ-90, що викликають різниці у визначенні висот пунктів на величину близько 1м. Всі ці погрішності в реалізації системи ПЗ-90 на теперішній момент не відповідають сучасним вимогам точності при вимірюваннях з використанням супутникової технології.

6.1.4. Система координат 1995 р. (СК-95)

Носієм цієї системи координат на загальному земному еліпсоїді є 164 тисячі пунктів спільно урівняних мереж КГМ, ДГМ, АГМ, що покривають всю територію колишнього СРСР, з яких 134 пункти мереж КГМ і ДГМ суміщені з пунктами АГМ при середній відстані між ними 400-450м.

Пункти КГМ визначені за доплерівськими, фотографічними, далекомірними радіотехнічними і лазерними спостереженнями системи ГЕОІК. Середня квадратична помилка визначення взаємного положення при середній відстані між ними близько 1- 1,5 тис. км має величину близько 0,2-0,3 м.

Пункти доплеровської мережі (ДГМ) визначалися за доплеровськими спостереженнями ШСЗ системи "Transit". Середні квадратичні помилки взаємного положення пунктів при середніх відстанях між ними 500-700км складають 0,4-0,6м.

Пункти АГМ після суцільного урівнювання всієї їх мережі мають середньоквадратичне значення відносної помилки ліній 1: 260 000, середньоквадратичні помилки суміжних пунктів, віддалених на перші десятки км один від одного 2-4 см, а середньоквадратичні помилки взаємного положення самих віддалених пунктів (на протилежних краях мережі) 1 м за кожною координатою.

Із включенням 134 високоточних пунктів була урівнена вся мережа АГМ - 164 тисячі пунктів, що дало можливість створити єдину координатну основу на всю територію.

Урівнювання всіх пунктів в єдиній системі привело до такої жорсткості мережі, при якій середньоквадратична помилка положення від початкового пункту до крайнього в мережі склала близько 1м. Це означає, що координати пунктів АГМ в СК-42, які мали раніше значні спотворення за рахунок поступового нарощування мереж у міру їх розвитку від одного початкового пункту, перераховані в систему 95 року, можуть перетворюватися за єдиними формулами і в інші системи координат - геоцентричні WGS-84 і ПЗ-90.

Елементи орієнтування і фундаментальні постійні СК-95 підібрані з урахуванням найменшої деформації щодо системи координат 1942р. З цією метою в якості відлікової поверхні прийнятий загальноземний еліпсоїд Красовського з параметрами $a = 6378245,0$ і стисненням - 1:298,3. Елементи орієнтування цього еліпсоїда повинні зберігати незмінними координати початкового пункту Пулково, тобто при урівнюванні ці координати повинні одержати нульові поправки. Орієнтація осей еліпсоїда Красовського прийнята співпадаючою з орієнтацією загального земного еліпсоїда (ЗЗЕ) в системі координат ПЗ-90 (КГМ).

Сумісне використання даних світової гравіметричної зйомки, планетарних характеристик геопотенціалу і супутникових вимірювань дозволили визначити положення центру еліпсоїда Красовського щодо центру мас Землі з точністю близько 1м за кожною координатою і тим самим забезпечити перехід від СК-95 до геоцентричних систем.

Системи координат ПЗ-90 і СК-95 зв'язані лінійними параметрами взаємного орієнтування: $dX = 25,90$ м; $dY = 130,94$ м;

$dZ = 81,76$ м, оскільки, як сказано вище, орієнтування осей відлікових еліпсоїдів у них прийнято співпадаючими.

Коли координатна система визначена всією сукупністю пунктів, в даному випадку всіма 164 тис. пунктів КГМ ДГМ і АГМ, початкові геодезичні дати встановлюють тільки систему відліку геодезичних координат. Точність взаємного положення в системі висот всіх пунктів-носіїв системи координат, не залежить ні від розташування початкового пункту, ні від значення початкових дат. При цьому відпадає необхідність визначення загального земного еліпсоїда, найближчого до поверхні квазігеоїду.

Для визначення нормальних висот за GPS/ГЛОНАСС - вимірюваннями в Балтійській системі висот 1977 р., яка є складовою частиною системи координат 1995 р., необхідно мати висоти квазігеоїду. Для цих цілей аерогеодезичні підприємства Роскартографії відповідно до зони їх діяльності, а також територіальні інспекції державного геодезичного нагляду Росії забезпечуються детальними картами висот квазігеоїду, одержаними з використанням детальної гравіметричної інформації.

Точність висот квазігеоїду в даний час визначається середніми квадратичними помилками 3-5 см при відстанях між пунктами до декількох десятків км і 10-15см при відстанях між пунктами до 1000 км.

Переваги СК-95 перед СК-42 можна вважати очевидними, враховуючи, що повні помилки координат в останній на сході доходять до 20 метрів і мають значні регіональні деформації. При традиційній технології вимірювань і при існуючій багатоступінчатій схемі прив'язки (АГМ → мережі згущування → розрядні мережі згущування → знімальні мережі) багато споживачів можуть не помічати відмінностей в системах координат, і тоді можна було б не вирішувати ряд складних проблем переходу до нової системи координат. Але зважаючи на вищесказану деформованість системи СК-42, вона не придатна для вживання сучасних супутникових технологій і входить в суперечність з сучасними можливостями і вимогами до геодезичних визначень. У міру розширення областей вживання супутникових методів і збільшення їх масовості ці суперечності позначатимуться все більше.

На період переходу до нової технології для забезпечення спадкоємності в координатному забезпеченні геодезичних робіт введення СК-95 абсолютно необхідне. Але, надалі, при все більш широкому упровадженні нових технологій і із зростанням їх точності, обмеження СК-95 перестануть задовольняти вимірювання, які виконуються. Більш точна система координат ґрунтуватиметься на діючих станціях ФАГМ, які будуть створені в найближчому майбутньому.

Головні проблеми, породжувані переходом до нової системи координат, пов'язані із зміною координат всіх об'єктів місцевості. Це і каталоги координат пунктів геодезичних мереж, і поправки, які необхідно враховувати при складанні топографічних карт, і робота з місцевими системами координат, та ін.

При урівнюванні координати пунктів АГМ 1 і 2 класів були одержані в СК-95. В даний час вони є в Московському аерогеодезичному підприємстві (МАГП) і найближчим часом після прийняття СК-95 на державному рівні будуть передані у всі інші підприємства і ТІГНи.

Перетворення координат АГМ 3 і 4 класів з СК-42 в СК-95 при належній точності і мінімумі витрат є однією із задач переходу до нової системи координат. При цьому можуть бути різні розв'язання:

- переурівнення мереж згущування і вставок пунктів 3-4 класів в каркас із пунктів 1-2 класів як початкових;
- перерахунок з використанням локальних параметрів ортогонального координатного перетворення, що визначаються із зіставлення координат пунктів 1 і 2 класів в обох системах;
- інтерполяція поправок, одержаних за наслідками урівнювання АГМ, на основі графічних або цифрових схем поправок.

Перший спосіб самий універсальний і строгий, але і самий трудомісткий, особливо в частині робіт по систематизації і аналізу матеріалів спостережень в мережах 3 і 4 класів, в той же час він не вимагає нових технологічних розробок і ґрунтується на цілком освоєних процесах обробки даних на ЕОМ.

Доцільність інших методів залежить від вимог, що пред'являються до точності розв'язання, необхідної оперативності і інших умов задач. Тут рекомендується:

- у всіх випадках, коли необхідна інформація зібрана, проаналізована і введена в ЕОМ, повинно бути виконано переурівняння координат;

- у решті випадків для всіх трапецій з регулярною системою поправок (середнє квадратичне значення (СКЗ) залишкових ухилень менше 5 см) повинен бути використаний відповідний варіант локального координатного перетворення (з використанням усіх пунктів трапеції або обмеженого числа суміжних із тими, що визначаються);

- у решті випадків на основі аналізу схем поправок, схем мереж 1-2 і 3-4 класів повинен бути зроблений вибір між числовою інтерполяцією поправок або переурівнянням координат із урахуванням необхідності і можливості додаткового збору і аналізу результатів вимірювань.

Після визначення тим чи іншим способом координат усіх пунктів 3-4 класів в СК-95 перехід до цієї системи для інших пунктів низьких класів і розрядів геодезичних побудов повинен виконуватися методом цифрової нелінійної інтерполяції поправок на основі списків розбіжності координат пунктів державної геодезичної мережі (ДГМ) в СК-42 і СК-95. Таким же чином можна переходити від СК-95 до СК-42 для забезпечення зв'язку між старими і новими вимірами.

У ЦНІПГАІК розроблене відповідне програмне математичне забезпечення (ПМЗ) інтерполяційним методом і передане в декілька АГП для випробування і внесення зауважень і пропозицій.

У зв'язку з використанням в міських мережах місцевих систем при введенні нової СК необхідно буде вжити заходів до того, щоб місцеві системи координат в цілому зберігалися максимально незмінними.

Для цього необхідно перевизначити ключі переходу від державної системи до відповідних місцевих систем. При цьому можуть бути виявлені деформації існуючих міських мереж, що виходять за межі нормативних вимог і пов'язані з локальними деформаціями ДГМ в системі 1942 року. Тут можуть допомогти уточнення згідно матеріалів додаткових супутникових вимірювань.

Найрадикальнішим способом було б переурівнювання міської мережі на новому висхідному матеріалі, проте, в більшості випадків

це нереально через великий об'єм даних у міській мережі і втрати цих даних.

Задача оновлення міських систем координат (принаймні, для відносно крупних міст) повинна ставитися одночасно із задачею реконструкції мереж цих міст з використанням супутникових методів.

Вимоги до точності топографічних карт, обумовлені зміною системи координат, диктуються величиною 0,3 мм в масштабі карти. Карти масштабу крупніше 1:10000 складаються в місцевих системах координат. При введенні нової державної системи координат для переходу із місцевої системи в загальнодержавну, необхідно буде визначити новий “ключ” відповідно із поправками до координат пунктів ДГМ, одержаних із урівнювання. Цей ключ повинен бути одержаний із помилкою, що не перевищує 0,3 мм в масштабі карти. Виконані в ЦНІГАІК дослідження показали, що складання цифрових поправок до координат пунктів АГМ за листами карт масштабу 1:200000 для переважної більшості районів дозволить ввести ці поправки в пункти згущування з помилкою, що не перевищує 5-10 см. Це забезпечить надійне обчислення “ключів” місцевих систем координат для топокарт і планів крупних масштабів.

Топографічні карти масштабного ряду 1:10000 - 1:100000 складаються в рівнокутній поперечно-циліндровій проекції Гауса в системі координат 1942 р. Для Європейської частини Росії потрібне введення поправок для карт масштабу 1:10000 тільки для 20% території і лише для півострова Ямал для карт 1:25000 (а, отже, і для 1:10000).

Основні райони, що вимагають коректування карт від 1:50000 і крупніше доводяться на територію Сибіру і Далекого Сходу.

Для найшвидшого упровадження в топографо-геодезичне виробництво нової системи координат і забезпечення можливості складання і оновлення топокарт в новій єдиній системі координат необхідно в найкоротші терміни перевести в ню координати мереж згущування. В цілях оперативного переведення координат пунктів мереж згущування до їх переурівнюванню необхідно скласти для листів карт масштабу 1:200000 цифрові карти поправок до нової системи координат за результатами урівнювання АГМ.

Такий оперативний метод розповсюдження нової системи координат на пункти мереж згущування забезпечить введення поправок в систему 1942 р. із середньою квадратичною помилкою 5-8 см.

До числа першочергових організаційних заходів щодо упровадження нової системи координат необхідно віднести модернізацію банку геодезичних даних і відповідного ПМЗ в цілях автоматизованої видачі координат пунктів ДГМ в новій системі координат за запитом споживачів.

Таким чином, в системі координат 1995 року, в порівнянні з СК-42, підвищена точність передачі координат на відстані понад 1000 км в 10-15 разів, а точність взаємного положення пунктів в 2-3 рази, досягнута однорідність за точністю розповсюдження координат на всій території Росії і країн СНД, виключені регіональні деформації державної геодезичної мережі, що досягають перших десятків метрів.

Як показав досвід побудови локальних геодезичних мереж супутниковими методами, при прив'язці до пунктів в системі координат 1942р. виникають неприпустимі деформації цих мереж. Тим самим, через помилки в координатах СК-42 часто не може бути реалізований потенціал дорогої супутникової апаратури, подовжуються терміни її окупності. Система координат 95-го року усуває ці спотворення і позбавляє супутникові вимірювання від перешкод в їх використанні.

Таким чином, введення системи координат 1995 року дозволяє перейти до сучасних технологій геодезичних робіт з якнайменшими втратами.

6.1.5. Перетворення координат

У зв'язку з тим, що супутникові радіонавігаційні системи GPS (США), ГЛОНАСС (Росія) а в недалекому майбутньому і система нового покоління GALILEO стануть основними засобами навігації і управління різноманітними транспортними засобами, визначення місцеположення з використанням таких систем тісно пов'язане із координатними системами, в яких виконуються вимірювання. Так, світова геодезична система координат 1984 р. (WGS-84) є базовою для супутникової радіонавігаційної системи GPS, а геоцентрична

координатна система 1990 р. (ПЗ-90) – для супутникової радіонавігаційної системи ГЛОНАСС.

Проте дотепер більшість країн для координатно-часового забезпечення використовує свої національні референсні геодезичні системи з конкретним набором параметрів початкових геодезичних дат, які не відповідають координатним системам супутникових радіонавігаційних систем. Визначення положення об'єктів в різних геодезичних системах відрізняється на величини від декількох метрів до декількох кілометрів.

В Україні за державну геодезичну систему координат прийнята система координат 1942р. (СК-42), координати об'єктів в якій не співпадають з координатами в системі WGS-84 на 150 - 200 м.

Світову геодезичну систему координат (WGS-84) резолюціями ІКАО (Міжнародна організація цивільної авіації) і ІМА (Міжнародна морська організація) прийнято як стандартну систему координат для навігаційного забезпечення повітряного і морського транспорту. В даний час аеронавігаційні дані аеропортів і навігаційні дані лоцій для морського і річкового транспорту в Україні визначені в державній геодезичній системі координат 1942 року. На її основі виготовлений масштабний ряд топографічних карт, які широко використовуються при розв'язанні прикладних задач, пов'язаних із геоінформаційними даними.

У зв'язку з цим постійно виникає необхідність перетворення координат із системи WGS-84 в СК-42 і навпаки.

Разом із СК-42 в Україні широко використовуються інші системи координат, а саме:

- Умовна система координат 1963 р. (СК-63);
- Геологічні системи координат 1 і 2;
- Місцеві системи координат великих населених пунктів і промислових майданчиків.

Використання цих систем також пов'язане із розв'язанням задачі перетворення координатних систем.

Розрізняють два види перетворення координат із однієї системи в іншу:

- перетворення просторових прямокутних або геодезичних координат однієї координатної системи в іншу з використанням точно відомих параметрів перетворення;

- перетворення координат із однієї системи в іншу з використанням пунктів, координати яких відомі в обох системах (метод опорних пунктів).

Вибір виду перетворення залежить від багатьох чинників: району використання наявності пунктів із відомими координатами, якості геодезичної мережі, точності навігаційної інформації, тощо. Узагальнені вимоги до точності навігаційного забезпечення приведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Вимоги до навігаційного забезпечення

Область використання	Види задач	Точність
Повітряна навігація	Навігаційна інформація за маршрутами	100 – 2 000 м
	Навігаційна інформація (навігаційні засоби і перешкоди) у межах аеропорту	1-3 м
	Осі ЗПМ, рульових доріжок, місць стоянок літаків	0,5 – 1,0 м
	Аномалії висот в системі WGS-84	0,25 – 0,5 м
Морська навігація	Навігація у відкритому морі	10 – 100 м
	Швартові операції	1 – 5 м
	Дослідження гідрографії	1 – 10 м
	Розробка корисних копалин, прокладки кабелів і трубопроводів	1 – 2 м
Навігація наземного транспорту	Організація перевезень пасажирів і вантажів	50-100 м
	Спеціальні транспортні задачі (стеження за небезпечними і важливими вантажами, протиугонні системи)	5-10 м
Геодезія, картографія і кадастр	Побудова державних і спеціальних геодезичних мереж	0,001-0,050 м
	Створення топографічних планів масштабів 1:500 – 1:5 000	0,10 – 1,0 м
	Створення топографічних карт масштабів 1:10 000 – 1:1 000 000	2- 200 м
	Топографо-геодезичне забезпечення кадастрових робіт	0,10 – 3,0 м

6.1.6. Методи перетворення координатних систем

Для перетворення системи координат можна використовувати наступні методи:

- метод Молоденського;
- множинної регресії;
- метод Гельмерта.

Перетворення координат методом Молоденського

Метод є наближенням, особливо при використанні його для великих територій. При використанні цього методу вважається, що осі систем паралельні один одному.

Тривимірне перетворення за формулами Молоденського виконується в криволінійних (геодезичних) координатах:

$$\begin{aligned}B_{WGS-84} &= B_{лок} + dB; \\L_{WGS-84} &= L_{лок} + dL; \\H_{WGS-84} &= H_{лок} + dH;\end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned}dB &= (-dX \cdot \sin B \cdot \cos L - dY \cdot \sin B \cdot \sin L + dZ \cdot \cos B + \\&+ da \cdot \frac{N \cdot e^2 \cdot \sin B \cdot \cos L}{a} + df \cdot \left(M \cdot \frac{a}{b} + N \cdot \frac{a}{b} \right) \cdot \sin B \cdot \cos B) \times \\&\times [(M + H) \cdot \sin(1'')]^{-1}; \\dL &= (-dX \cdot \sin L + dY \cdot \cos L) \cdot [(N + H) \cdot \cos B \cdot \sin(1'')]^{-1}; \\dH &= aX \cdot \cos B \cdot \cos L + dY \cdot \cos B \cdot \sin L + dZ \cdot \sin B - da \cdot \frac{a}{N} + \\&+ df \cdot \frac{a}{b} \cdot N \cdot \sin^2 B,\end{aligned}$$

де B, L, H - геодезичні координати;

dB, dL, dH - поправки для перетворення координат із локальної системи в систему WGS- 84 (dB і dL виражені в секундах дуги, а dH – в метрах);

dX, dY, dZ - зсув центрів локальної системи координат і системи WGS-84;

a - велика піввісь локального еліпсоїду;
 b - мала піввісь локального еліпсоїду;
 f - стиснення локального референц-еліпсоїду;
 da, df - різниці між значеннями великої півосі, стисненням локального (місцевого) еліпсоїда і WGS-84 (WGS мінус локальний);
 e - ексцентриситет локального еліпсоїду;
 N - радіус кривизни першої вертикалі;
 M - радіус кривизни меридіану.

Перетворення координат методом множинної регресії.

Щоб одержати більш точні наближення для поверхонь континентального масштабу, ніж це дає метод Молоденського необхідно застосувати рівняння множинної регресії для перетворення локальної системи координат в систему WGS-84.

Для dB рівняння регресії має вигляд:

$$dB = A_0 + A_1U + A_2V + A_3U^2 + A_4UV + A_5V^2 + \dots + A_{99}U^9V_9,$$

де $A_0, A_1 \dots A_{99}$ – коефіцієнти, що визначаються експериментальним шляхом;

$U = k \cdot (B - B_m)$ - нормалізована геодезична широта точки;

$V = k \cdot (L - L_m)$ - нормалізована геодезична довгота точки;

k - коефіцієнт зміни масштабу і перетворення градусів в радіани;

B, L – геодезичні координати точки в локальній системі;

B_m, L_m - середня широта і довгота для району локальної системи координат L .

Такі ж рівняння можуть бути одержані для dL, dH заміною dB в лівій частині рівняння на dL, dH відповідно.

Перетворення координат методом Гельмерта.

Якщо вхідні координати задані у вигляді просторових геодезичних координат B, L, H перетворення методом Гельмертом виконують в три етапи:

1. *Перетворення просторових геодезичних координат локального еліпсоїда в просторові декартові координати X, Y, Z локальної системи.*

$$\begin{aligned}
(B, L, H)_{\text{лок}} &\rightarrow (X, Y, Z)_{\text{лок}}; \\
X &= (N + H) \cdot \cos B \cdot \cos L; \\
Y &= (N + H) \cdot \cos B \cdot \sin L; \\
Z &= [N \cdot (1 - e^2) + H] \cdot \sin B,
\end{aligned}$$

де N – радіус кривизни в першій вертикалі, який обчислюється за формулою:

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 B}}, \quad e^2 = f \cdot (2 - f),$$

де a – велика піввісь еліпсоїду;

e – ексцентриситет;

f – стиснення еліпсоїду.

2. Використання перетворення Гельмерта.

Для отримання достовірних результатів використовують сім параметрів, які повністю описують перетворення координатних систем:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{WGS-84}} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{\text{лок}} + \begin{bmatrix} \mu & +\varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & \mu & +\varepsilon_x \\ +\varepsilon_y & -\varepsilon_x & \mu \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix},$$

де dX, dY, dZ – елементи вектора зсуву початку локальної системи координат і WGS-84;

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – кутові елементи, що передають обертання осей локальної системи для забезпечення їх паралельності із осями системи WGS-84;

μ – масштабний множник.

3. Зворотне перетворення просторових прямокутних декартових координат WGS-84 в геодезичні координати WGS-84.

$$(B, L, H)_{\text{WGS-84}} \leftarrow (X, Y, Z)_{\text{WGS-84}};$$

$$B = \arctg\left(\sqrt{\frac{Z}{X^2 + Y^2}}\right) \cdot \left(1 - e^2 \cdot \frac{H}{N + H}\right)^{-1};$$

$$L = \arctg\left(\frac{X}{Y}\right);$$

$$H = \frac{\sqrt{X^2 + Y^2}}{B} - N,$$

де B – геодезична широта (із знаком плюс в північному напрямленні);

L – геодезична довгота (відлічується в східному напрямленні від Грінвічського меридіану);

H – геодезична висота (абсолютна висота уздовж нормалі до еліпсоїду);

e – ексцентриситет еліпсоїду.

У всіх вище приведених методах координатних перетворень використовується H – геодезична висота, а в Україні практично використовуються H^0 , тобто нормальні висоти.

Співвідношення між геодезичною і нормальною висотами визначається за наступною формулою:

$$H^0 = H + h,$$

де H^0 – нормальна висота; H – геодезична висота; h – висота квазігеоїду.

6.2. Визначення картографічних проекцій

Дамо два визначення картографічних проекцій:

1. Картографічною проекцією називається математично виражений спосіб відображення поверхні Землі або інших небесних тіл, що приймаються за еліпсоїд, сферу або інші регулярні поверхні, на площині.

2. Картографічною проекцією називається спосіб встановлення взаємно – однозначної відповідності точок поверхні і площини, що відображається.

Зображення на карті ліній меридіанів і паралелей в прийнятій картографічній проекції називається картографічною сіткою.

Частота її ліній встановлюється залежно від призначення карти. Вид картографічної сітки залежить від рівнянь даної проекції.

6.3. Нескінченно мала сфероїдальна трапеція і її зображення на площині

Елементами нескінченно малої сфероїдальної трапеції є (рис.6.2):

$ds_1 = M d\varphi$ - нескінченно малий відрізок меридіану;

$ds_2 = r d\lambda$ - нескінченно малий відрізок паралелі;

$ds = \sqrt{ds_1^2 + ds_2^2}$ - лінійний елемент еліпсоїду;

$\alpha = \arctg\left(\frac{rd\lambda}{Md\varphi}\right)$ - азимут лінійного елемента;

$dS = ds_1 \cdot ds_2 = M \cdot r \cdot d\varphi \cdot d\lambda$ - площа нескінченно малої трапеції,

де $M = \frac{\alpha(1-e^2)}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \varphi}}$ - радіус кривизни меридіанного перетину;

$r = N \cdot \cos \varphi$ - радіус кривизни паралелі.

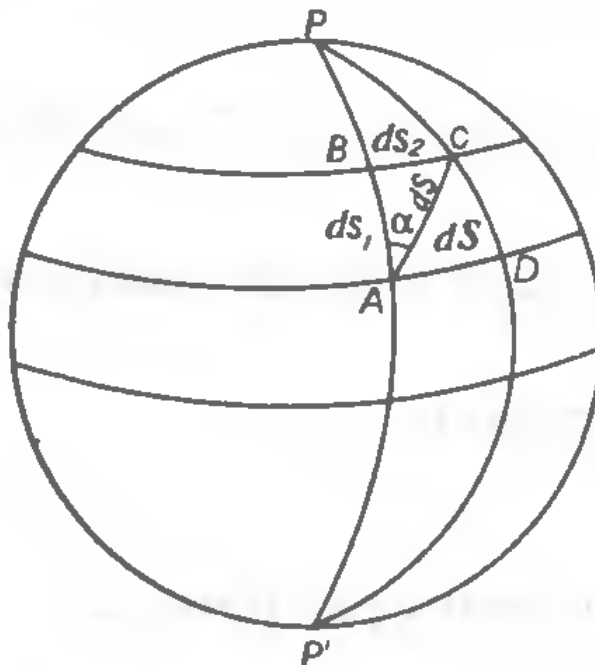


Рис.6.2. Елементи сфероїдальної трапеції

Елементами зображення нескінченно малої сфероїдальної трапеції на площині є (рис.6.3):

$d\sigma = \sqrt{e d\varphi^2 + 2 f d\varphi d\lambda + g d\lambda^2}$ - лінійний елемент на площині;

$d\sigma_1 = \sqrt{e} d\varphi$ - зображення на площині нескінченно малого відрізка меридіану;

$d\sigma_2 = \sqrt{g} d\lambda$ - зображення на площині нескінченно малого відрізка паралелі;

$i = \arctg\left(\frac{h}{f}\right)$ - кут між зображеннями меридіанів і паралелей в точках проекції;

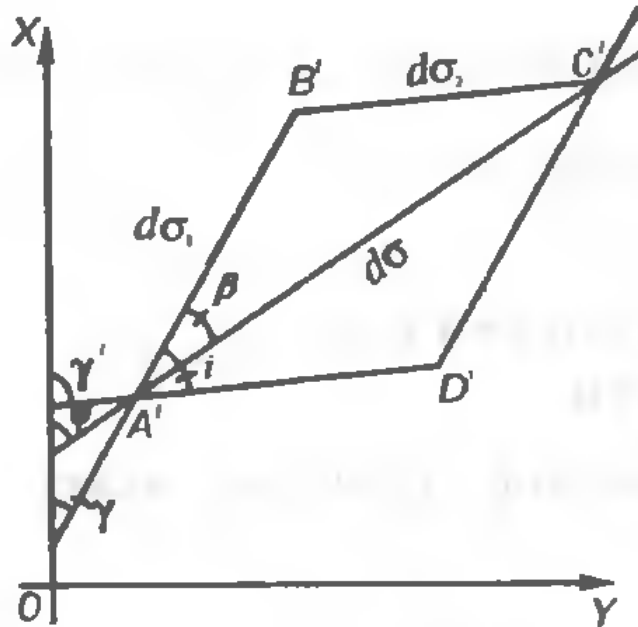


Рис.6.3. Елементи зображення нескінченно малої сфероїдальної трапеції

$\varepsilon = i - 90^\circ = \arctg\left(\frac{f}{h}\right)$ - відхилення кута i від прямого;

$\beta = \arctg\left(\frac{e}{h} \frac{r}{M} \operatorname{ctg} \alpha + \frac{f}{h}\right)$ - азимут лінійного елемента на проекції;

$d\Sigma = d\sigma_1 d\sigma_2 \sin i = h d\varphi d\lambda$ - площа зображення нескінченно малої трапеції на проекції.

Тут: e, f, g - коефіцієнти Гауса:

$$\begin{aligned} e &= x_{\varphi}^2 + y_{\varphi}^2; & f &= x_{\varphi} x_{\lambda} + y_{\varphi} y_{\lambda}; \\ g &= x_{\lambda}^2 + y_{\lambda}^2; & h &= x_{\varphi} y_{\lambda} - x_{\lambda} y_{\varphi}. \end{aligned}$$

6.4. Масштаби

У теорії картографічних проекцій розглядаються поняття і формули лінійних масштабів і масштабів площ. Лінійні масштаби підрозділяються на головний і приватні масштаби довжин. **Приватним масштабом довжин** відображення в даній точці за даним напрямом називається відношення нескінченно малого відрізка на проекції до відповідного нескінченно малого відрізка на поверхні еліпсоїда (сфери).

Формула приватних масштабів довжин в кожній точці проекції за заданим напрямом α має вигляд:

$$\mu^2 = m^2 \cos^2 \alpha + m \cdot n \cdot \cos i \cdot \sin 2\alpha + m^2 \sin^2 \alpha.$$

При азимутах напрямку відповідно $\alpha=0$ і $\alpha=90^\circ$ одержуємо:

$m = \frac{1}{M} \sqrt{x_{\varphi}^2 + y_{\varphi}^2}$ - формула приватного масштабу довжин уздовж меридіанів;

$n = \frac{1}{r} \sqrt{x_{\lambda}^2 + y_{\lambda}^2}$ - формула приватних масштабів довжин уздовж паралелей;

$x_{\varphi}, y_{\varphi}; x_{\lambda}, y_{\lambda}$ - приватні або звичайні похідні прямокутних координат проекції уздовж широти φ і довготи λ .

Приватним масштабом площі називають відношення нескінченно малої площини $d\Sigma$ на проекції до відповідної нескінченно малої майданчику на поверхні еліпсоїда (сфери) dS .

Формули приватних масштабів площ p має вигляд:

$$p = \frac{h}{M r} = m n \cos \varepsilon = a b,$$

де $\varepsilon = \arctg\left(-\frac{f}{h}\right)$ - відхилення кута ε між зображеннями меридіанів і паралелей на проекції від прямого;

$$f = x_{\varphi}x_{\lambda} + y_{\varphi}y_{\lambda}; \quad h = x_{\varphi}y_{\lambda} - x_{\lambda}y_{\varphi}.$$

У кожній точці за двома ортогональними напрямками приватні масштаби довжин приймають екстремальні значення: ***a*** – найбільший, ***b*** – найменший приватні масштаби. Напрями, за якими приватні масштаби екстремальні називаються **головними**. В проекціях з ортогональною картографічною сіткою головні напрями співпадають з напрямками меридіанів і паралелей.

Екстремальні приватні масштаби довжин визначаються за формулами:

$$a = \frac{A+B}{2}; \quad b = \frac{A-B}{2},$$

$$\text{де } A = \sqrt{m^2 + n^2 + 2 \cdot m \cdot n \cdot \cos \varepsilon}; \quad B = \sqrt{m^2 + n^2 - 2 \cdot m \cdot n \cdot \cos \varepsilon}.$$

6.5. Умови відображення поверхні еліпсоїда (сфери) на площині

Картографічні проекції можуть бути рівнокутними, рівновеликими і довільними (в окремих випадках рівнопроміжними) за характером спотворень. При отриманні цих проекцій необхідно добитися, щоб їх рівняння задовольняли відповідним умовам відображення.

Рівнокутними проекціями називають такі, в яких відсутні спотворення кутів і азимутів лінійних елементів, тобто в яких одночасно виконуються дві умови: картографічні сітки цих проекцій повинні бути ортогональні і в кожній точці проекції приватні масштаби довжин не повинні залежати від напрямів, за якими вони визначаються.

Ці умови приймають вигляд:

$$m = n; \quad \varepsilon = 0,$$

або

$$x_{\lambda} = -\frac{r}{M} y_{\varphi}; \quad y_{\lambda} = \frac{r}{M} x_{\varphi} \quad (\text{умова Коші-Рімана})$$

Рівновеликими проекціями називаються такі, в яких площі S і Σ указаних областей на поверхні еліпсоїда (сфери) і на площині тотожно рівні (пропорційні).

У цих проекціях повинно бути:

$$p = 1; \text{ или } h = Mr; \text{ или } m n \cos \varepsilon = ab = 1.$$

Рівнопроміжними називаються проекції, що зберігають довжини за одним із головних напрямів. Найбільш часто до них відносять проекції з ортогональною картографічною сіткою, в яких зберігаються довжини або уздовж меридіанів, або уздовж паралелей.

6.6. Спотворення картографічних проекцій

Найважливішим фактором вибору і використання картографічних проекцій є величини і характер спотворень проекцій, що використовуються. Їх аналіз дозволяє оцінити достоїнства даних проекцій і використати одержані дані для розв'язання ряду практичних і наукових задач.

Звичайно наголошується, що на картах мають місце два види спотворень:

- спотворення довжин у всіх проекціях; кутів і площ - у всіх проекціях, окрім відповідно рівнокутних і рівновеликих проекцій, що виникають через зміни приватних масштабів в точках проекцій і які дають характеристику відображень в цих точках;
- спотворення в довжинах кінцевих прямолінійних відрізків і кутах між ними, а також в азимутах цих напрямів, що виникають при виконанні вимірювань на картах через кривизну зображення геодезичних ліній.

Геометричну інтерпретацію спотворення дає поняття про еліпс спотворення (рис. 6.4, 6.5).

У загальному випадку нескінченно мале коло на поверхні еліпсоїда (сфери) зображається на площині нескінченно малим еліпсом. В окремих випадках, а саме в рівнокутних (конформних) і напівконформних проекціях, в яких приватні масштаби довжин уздовж меридіанів і паралелей рівні ($m=n$), нескінченно мале коло на поверхні еліпсоїда (сфери) зображається на площині подібним нескінченно малим колом. Відзначимо, що для геометричної

інтерпретації спотворень зручніше використовувати не нескінченно малі, а кінцеві величини. Виходячи з цього, еліпсом спотворень або індикатрисою (вказівницею) Тіссо назвали еліне кінцевих розмірів (наприклад, при радіусі кола $R=1$), відповідний одержаному на площині нескінченно малому еліпсу.

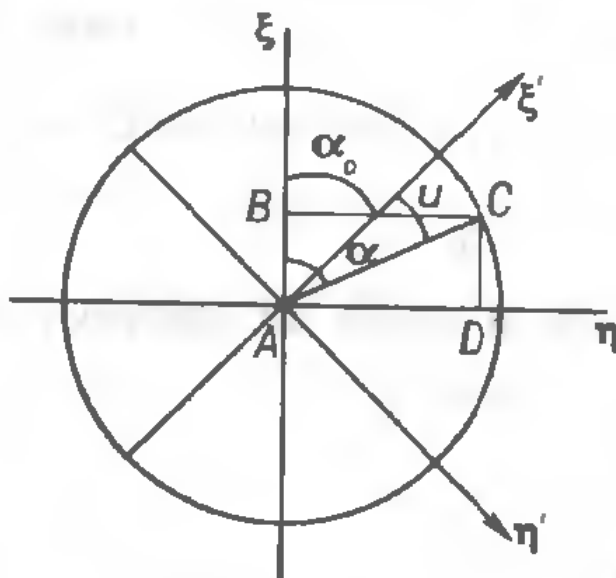


Рис. 6.4. Нескінченно малі коло і трапеція на еліпсоїді

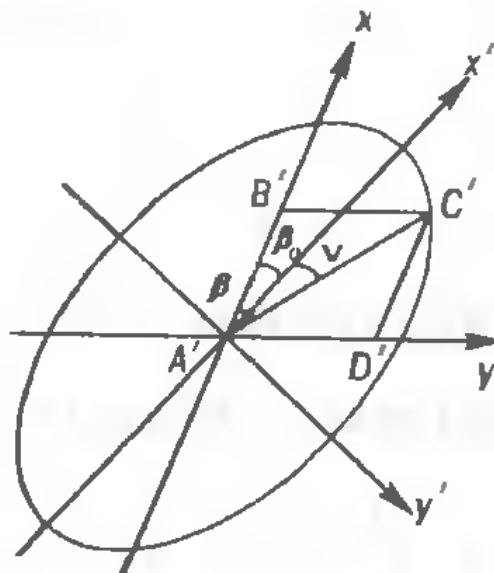


Рис. 6.5. Схема побудови еліпса спотворень

Якщо за рис. 6.4, 5.5 визначити кути u і v між головними напрямками і напрямками на поточні точки на еліпсоїді і площині і

позначити через $\frac{w}{2}$ найбільшу їх різницю $\frac{w}{2} = u_0 - v_0$, то найбільші спотворення кутів проекції визначаються формулами:

$$\sin \frac{w}{2} = \frac{a-b}{a+b}; \quad \cos \frac{w}{2} = \frac{2\sqrt{a \cdot b}}{a+b}; \quad \operatorname{tg} \frac{w}{2} = \frac{a-b}{2\sqrt{a \cdot b}},$$

де a, b – екстремальні приватні масштаби довжин.

Спотворення довжин на проекції характеризуються трьома показниками:

- відносні спотворення довжин в даній точці проекції за даним напрямом;
- відносні спотворення довжин в даній точці за всіма напрямками;
- середньоквадратичні (середньоарифметичні) величини спотворень в межах, всієї області, що зображається.

За міру відносних спотворень довжин в даній точці за даним напрямом приймають наступні величини:

$$v_1 = \mu - 1; \quad v_2 = \ln \mu; \quad v_3 = 1 - \frac{1}{\mu}; \quad v_4 = \frac{1}{2}(\mu^2 - 1).$$

Всі ці величини розрізняються між собою лише малими другого або більш високих порядків малості щодо самих цих величин.

За загальну міру відносних спотворень довжин в даній точці за всіма напрямками приймають формули, запропоновані різними ученими і названі критеріями за їх іменами:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_{\mathfrak{A}_1}^2 &= \frac{1}{2}[(a-1)^2 + (b-1)^2] \\ \varepsilon_{\mathfrak{A}_2}^2 &= \frac{1}{2}\left[\left(\frac{a}{b}-1\right)^2 + (a \cdot b - 1)^2\right] \end{aligned} \right\} - \text{критерії Ейрі};$$

$$\varepsilon_{\mathfrak{A}-K}^2 = \frac{1}{2}[\ln^2 a + \ln^2 b] - \text{критерій Ейрі – Каврайського};$$

$$\varepsilon_{II}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\mu - 1)^2 da - \text{критерій Йордана};$$

$$\varepsilon_{H-K}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln^2 \mu da - \text{критерій Йордана – Каврайського};$$

$$a = \arctg \left(\frac{\frac{a}{b} - 1}{a \cdot b - 1} \right) - \text{критерій Конусової, за допомогою якого}$$

оцінюється або задається характер спотворень проєкцій:

$a = 0$ - для рівнокутних проєкцій;

$a = \frac{\pi}{2}$ - для рівновеликих проєкцій;

$0 < a < \frac{\pi}{2}$ - для проєкцій довільних за характером спотворень.

Окрім вказаних, для оцінки достоїнств картографічних проєкцій були також запропоновані і використовувалися інші критерії (Клінгача, Вебера, Ейзенлора, Фролова та ін.).

Відмітимо, що для проєкцій із ортогональною картографічною сіткою після всіх вказаних критеріїв екстремальні приватні масштаби “ a ” і “ b ” приймають значення приватних масштабів довжин уздовж меридіанів m і паралелей n .

Величини спотворень довжин в межах всієї області, що зображається, оцінюються за допомогою критеріїв мінімаксного або варіаційного типів. Критерієм мінімаксного типу є критерій П.Л.Чебишева, згідно якому для досліджуваної проєкції визначається (в межах всієї області, що зображається) відношення найбільшого значення приватного масштабу довжин μ_{max} до найменшого значення μ_{min} . При використанні критеріїв варіаційного типу визначається для даної проєкції (в межах всієї території, що зображається) значення одного з функціоналів E^2 :

$$E^2 = \frac{1}{F} \int_F \varepsilon^2 dF \approx \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2,$$

де ε^2 обчислюється за одним із указаних критеріїв ε^2 або їм аналогічним.

Спотворення площ визначається із виразу $v_p = p - 1$.

Слід зазначити, що при розробці проекції, якщо добиватися усунення спотворень площ, то приблизно удвічі збільшаться спотворення кутів і навпаки.

При виконанні вимірювань азимутів (кутів) і довжин відрізків по карті окрім вказаних спотворень виникають ще спотворення в азимутах δ_{12} і довжинах $\Delta s_{12} = s_{12} - d_{12}$ через кривизну зображення на картах геодезичних ліній (рис.6.6).

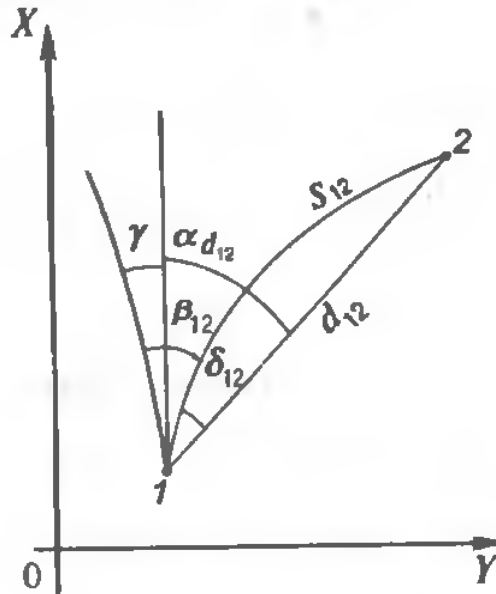


Рис.6.6. Азимут і дирекційний кут

Ці величини спотворень (поправок) при використанні карт, складених в рівнокутних проекціях можна визначити за формулами:

$$\delta_{12} = k_1 S_{12} + \dots;$$

$$\Delta S_{12} = S_{12} - d_{12} = \frac{1}{24} k_1 S_{12}^3 + \dots,$$

де k_1 – кривизна зображення даної лінії в початковій (першій) точці, визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{r \cdot m} \left(\frac{\partial \ln m}{\partial q} \sin a - \frac{\partial \ln m}{\partial \lambda} \cos a \right),$$

де r – радіус кривизни паралелі;

m – приватний масштаб довжин в першій точці;

α - азимут напрямку лінії S_{12} ;

d_{12} – хорда лінії S_{12} .

Визначення величин цих спотворень, особливо при використанні нерівнокутних проекцій, представляє певні труднощі.

6.7. Методи перетворенні картографічних проекції при створенні карт ГІС

У багатьох випадках створення карт ГІС початкові картографічні матеріали складені в проекціях, відмінних від проекцій створюваних карт.

Виникає необхідність виконання їх перетворень і, отже, перетворення всього зображення карт.

Існує два основні способи розв'язання цієї задачі.

Перший припускає попереднє визначення геодезичних координат за прямокутними координатами точок початкового картографічного матеріалу, а потім за цими геодезичними координатами - обчислення (за формулами математичної картографії) прямокутних координат створюваної карти.

У другому способі встановлюється безпосередній зв'язок прямокутних координат проекції початкового картографічного матеріалу і створюваної карти. Оскільки визначити аналітичний зв'язок цих систем координат вельми складно, для розв'язання цієї задачі застосовують різного виду поліноми.

Основною частиною першого способу є визначення геодезичних координат за прямокутними координатами точок початкового картографічного матеріалу, оскільки обчислення прямокутних координат другої проекції за відомими формулами труднощів не викликає. Цю задачу можна розв'язати за допомогою використання ланцюжка формул, визначеного для кожної проекції, або методом ітерацій, розглянутих в підручниках, по математичній картографії.

Цей спосіб має ряд переваг в порівнянні з другим способом, оскільки забезпечує високу точність перетворень і вільний від всяких обмежень.

Другий спосіб доцільно застосовувати у разі, коли відсутні дані про проекції початкового картографічного матеріалу, а також у разі перетворення малих за площею ділянок карти.

У цьому способі виникають обмеження, пов'язані з відмінностями в характері спотворень даних картографічних

проекцій, у відмінностях у відображенні географічних полюсів і характеру симетричності картографічних сіток щодо середнього меридіана і екватора.

При використуванні цього способу розміри малих ділянок перетворення встановлюють із розрахунку, щоб на стику цих ділянок непоєднання зображення одних і тих же контурів не перевершували 0,3-0,4 мм в масштабі карти.

6.8. Теорія класів і окремих варіантів картографічних проекцій

Найважливішим питанням створення і використання базових карт ГІС є вибір картографічних проекцій, що забезпечують оптимальне розв'язання просторових задач ГІС по картах.

Кожна картографічна проекція володіє тими або іншими достоїнствами і недоліками. Їх вибір залежить від призначення створюваної карти, особливостей картографічної території і властивостей даних проекцій.

Картографічні проекції можуть класифікуватися за різними ознаками:

- за орієнтуванням картографічної сітки залежно від положення точки полюса прийнятої системи координат;
- за видом нормальної картографічної сітки ліній $\varphi = \text{const}$ $\lambda = \text{const}$;
- за видом загальних рівнянь картографічних проекцій;
- за характером спотворень (властивостями зображення);
- за способами отримання проекцій і іншими.

Класифікація проекції по орієнтуванню картографічної сітки залежить від широти φ_0 точки полюса Q системи координат, що використовується. При $\varphi_0 = 90^\circ$ полюс прийнятої системи співпадає з географічним полюсом - одержуємо прямі проекції, в яких сітка меридіанів і паралелей $\varphi = \text{const}$ $\lambda = \text{const}$ має найпростіший вигляд, її називають нормальною. При $\varphi_0 = 0^\circ$ - одержуємо поперечні проекції, при $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$ - косі. В косих і поперечних проекціях нормальна сітка співпадає із сіткою вертикалів і альмукантаратів, а лінії меридіанів і паралелей зображаються кривими.

За характером спотворень проекції підрозділяються на рівнокутні, рівновеликі і довільні, зокрема рівнопроміжні за одним із головних напрямів (за напрямками меридіанів або паралелей - для

проекцій з ортогональною картографічною сіткою). За видом нормальної картографічної сітки, загальних рівнянь виділяють наступні основні класи проекцій:

- циліндричні;
- псевдоциліндричні;
- конічні;
- азимутальні;
- псевдоконічні;
- псевдо азимутальні;
- поліконічні проекції в широкому і вузькому значеннях.

Крім того розглядають перспективні азимутальні проекції із “позитивним” зображенням – математичні моделі кадрових космічних знімків, проекції Гауса – Крюгера і UTM – основних проекцій топографічних карт, проекцію Чебишева – найкращу рівнокутну проекцію та інші.

Стисло розглянемо основні особливості цих проекцій.

6.8.1. Циліндричні проекції

В даних проекціях меридіани зображаються рівновіддаленими паралельними прямими, а паралелі – паралельними прямими, ортогональними меридіанам (рис.6 7).

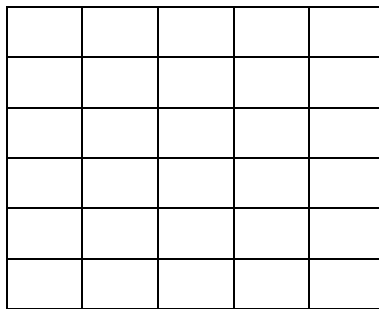


Рис 6.7. Циліндричні проекції

Загальні рівняння циліндричних проекцій і формули приватних масштабів довжин уздовж меридіанів (m) і паралелей (n), найбільших спотворень кутів (ω) мають вигляд:

$$x = f(\varphi); \quad y = r_0 \lambda; \quad m = \frac{x_\varphi}{M}; \quad n = \frac{r_0}{r}; \quad \sin \frac{\omega}{2} = \frac{|m - n|}{m + n},$$

де r , r_0 , - відповідно радіуси кривизни поточних паралелей і паралелі $\varphi_0 = \text{const}$, на якій немає спотворень довжин.

Ці проекції можуть бути рівнокутними (в них $m = n$), рівновеликими (в них $p = m \cdot n = 1$) і рівнопроміжними уздовж меридіанів (в них $m = 1$). Найбільше значення із цих проекцій має рівнокутна циліндрична проекція - проекція Меркатора (особливо для створення навігаційних і аеронавігаційних карт), в якій локсодромії (лінії, що перетинають на поверхні еліпсоїда всі меридіани під постійними кутами), зображаються прямими лініями, що істотно полегшує розв'язання навігаційних задач за цими картами. Циліндричні проекції доцільно застосовувати для картографування територій, розташованих поблизу екватора, симетрично до нього і сильно витягнутих уздовж довготи.

6.8.2. Псевдоциліндричні проекції

Псевдоциліндричними називаються проекції в яких паралелі зображаються прямими лініями, а меридіани - кривими, симетричними щодо середнього прямолінійного меридіану (рис.6.8).

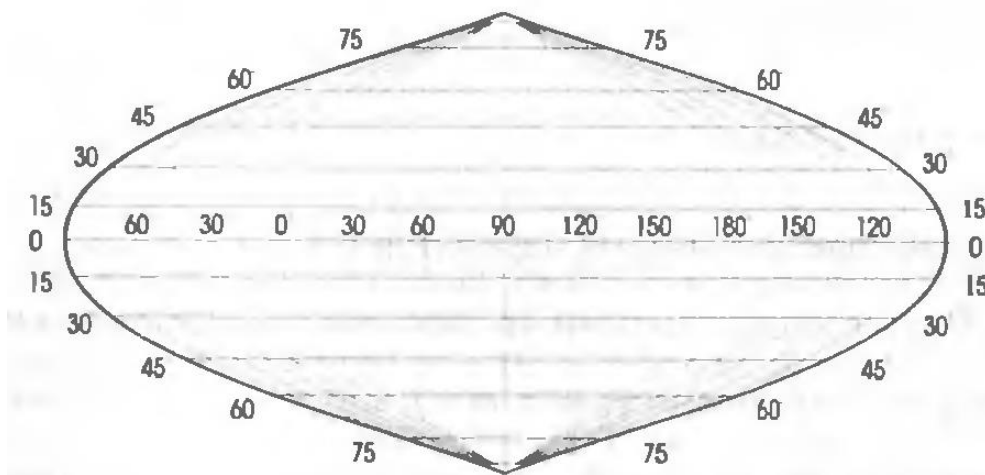


Рис.6.8. Рівновелика синусоїдальна псевдоциліндрична проекція Сансона

Загальні рівняння цих проекцій, формули приватних масштабів довжин уздовж меридіанів (m), паралелей (n), площ (p), найбільших спотворень кутів (ω) і відхилень кутів між меридіанами і паралелями на проекції від прямого ε мають вигляд:

$$x = f_1(\varphi); \quad y = f_2(\varphi, \lambda);$$

$$m = x_{\varphi} \sec \frac{\varepsilon}{M}; \quad n = \frac{y_{\lambda}}{r};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{m^2 + n^2}{p} - 2};$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = -\frac{y_{\varphi}}{x_{\varphi}}.$$

У псевдоциліндричних проекціях можна зобразити всю поверхню, що картографується, а при необхідності повторити частини зображення за довготою.

Географічні полюси можна показати точками або лініями, які паралелі екватору і називаються *полярними лініями*.

Меридіани мають заданий вигляд, зображаються частіше за все еліпсами або синусоїдами, але можна одержати псевдоциліндричні проекції, в яких меридіани мають вид парабол, гіпербол та інших кривих.

Ці проекції можуть бути тільки рівновеликими або довільними за характером спотворень і застосовуються, головним чином, для картографування всієї земної кулі цілком.

6.8.3. Конічні проекції

Конічними називають картографічні проекції, в яких паралелі зображаються концентричними колами, а меридіани - пучком прямих, проведених із центру кіл. При цьому кути в точці полюса між меридіанами на проекції і еліпсоїді (сфері) пропорційні і, отже, на проекції в точці полюса виникає розрив зображення (рис.6.9).

Загальні рівняння конічних проекцій і формули приватних масштабів довжин уздовж меридіанів (m) і паралелей (n), найбільших спотворень кутів (ω) мають вигляд:

$$x = \rho_{\omega} - \rho \cdot \cos \delta; \quad y = \rho \cdot \sin \delta;$$

$$\rho = f(\varphi); \quad \delta = \alpha \cdot \lambda;$$

$$m = -\frac{\rho_{\varphi}}{M}; \quad n = \frac{\alpha \cdot \rho}{r};$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{|m - n|}{m + n}.$$

Проекції мають два постійні параметри a і k .

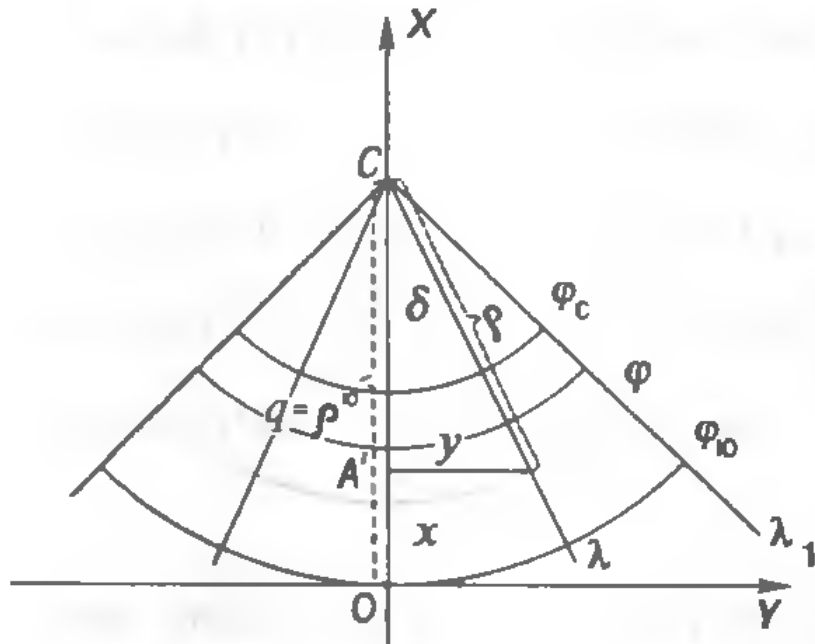


Рис.6.9. Системи координат в нормальній конічній проекції

Вони можуть бути рівнокутними (в них $m = n$), рівновеликими (в них $p = mn$), рівнопроміжними (в них $m = 1$ або $n = 1$) і довільними за характером спотворень. Їх доцільно використовувати для картографування територій, розташованих в середніх широтах, або в південних широтах, асиметричних до екватора і сильно витягнутих уздовж довготи.

6.8.4. Азимутальні проекції

Азимутальними називають проекції, в яких паралелі (альмукантарати) зображаються концентричними колами, а меридіани (вертикали) - прямими лініями, пересічними в центрі кіл під кутами, рівними різницям довгот відповідних меридіанів (рис. 6.10).

У азимутальних проекціях кулі їх загальні рівняння і формули приватних масштабів довжин уздовж меридіанів ($\mu_1 = m$), паралелей ($\mu_2 = n$) і найбільших спотворень кутів (ω) записуються із використанням полярних координат z , a у вигляді:

$$x = \rho \cdot \cos \alpha; \quad y = \rho \cdot \sin \alpha; \quad \rho = f(z);$$

$$\mu_1 = \frac{\rho_2}{R}; \quad \mu_2 = \frac{\rho}{R \cdot \sin z};$$

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{|\mu_2 - \mu_1|}{\mu_2 + \mu_1},$$

де R – радіус земної кулі.

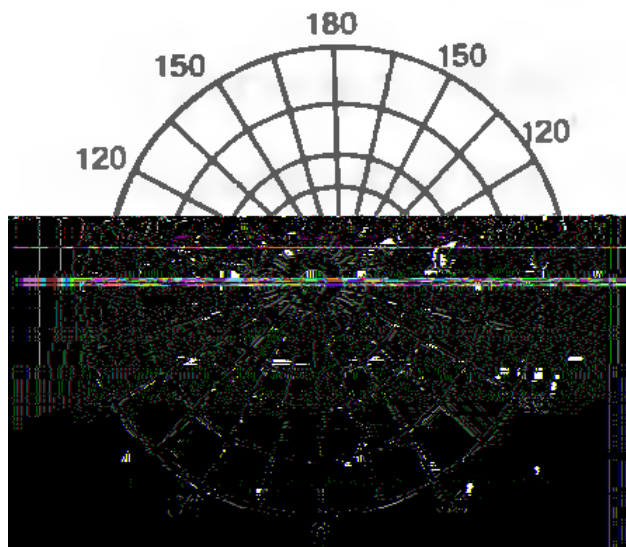


Рис.6.10. Нормальна азимутна проекція

Для отримання азимутальних проекцій еліпсоїда в цілях картографування полярних областей використовують конічні проекції, в яких приймають постійний параметр за одиницю ($a=1$).

Ці проекції можуть бути рівнокутними (в них $(\mu_1=\mu_2)$, рівновеликими (в них $p=\mu_1\mu_2$) рівнопроміжними уздовж меридіанів і паралелей (вертикалів і альмукантарів) (в них $\mu_1=1$ або $\mu_2=1$), довільними за характером спотворень. Їх доцільно використовувати як проекції еліпсоїда, при картографуванні полярних областей, і як проекції кулі, для картографування інших територій, які мають округлі контури. Серед цих проекцій, особливу увагу заслуговує рівнокутна азимутальна (стереографічна) проекція, яка є єдиною проекцією без спотворень форм кінцевих фігур.

При картографуванні інших територій, окрім полярних, в якості азимутальної проекції еліпсоїда використовують рівнокутну проекцію Лагранжа, в якій приймають постійний параметр за одиницю ($a=1$).

6.8.5. Перспективні азимутальні проекції

Дані проекції підрозділяють на проекції із “негативним” і “позитивним” зображеннями.

В перших проектування поверхні, що відображається, із точок простору, званих точками зору, прямолінійним візирним промінням на картинну площину здійснюється із боку угнутості цієї поверхні, в других - із боку опуклості поверхні, що відображається.

До перспективних азимутальних проекцій із “негативним” зображенням відносяться:

- гномонічна проекція, в якій ортодромії, - лінії найкоротших відстаней на поверхні сфери, зображаються прямими (точка зору знаходиться в центрі кулі);
- стереографічна проекція, яка є рівнокутною проекцією і єдиною, в якій немає спотворень форм кінцевих фігур (точки зору розташовуються на поверхні кулі);
- ортографічна проекція, в якій немає спотворень уздовж альмукантаратів (точка зору розташовується в нескінченності і тому цю проекцію використовують для створення деяких карт небесних тіл).

Перспективні азимутні проекції із “позитивним” зображенням - є математичними моделями кадрових космічних знімків.

Формули прямокутних координат цих проекцій еліпсоїда на горизонтальну картинну площину і приватних масштабів довжин проекцій мають вигляд (рис.6.11):

$$X = \frac{A}{B}; \quad Y = \frac{B}{B},$$

де

$$A = (N + h) \cdot [\sin \varphi \cdot \cos \varphi_0 - \cos \varphi \cdot \sin \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)] + e^2 \cdot (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \cdot \cos \varphi_0;$$

$$B = \frac{N + h}{\cos \varphi \cdot \sin(\lambda - \lambda_0)};$$

$$B = (N + h) \cdot [\sin \varphi \cdot \sin \varphi_0 - \cos \varphi \cdot \cos \varphi_0 \cos(\lambda - \lambda_0)] + e^2 \cdot (N_0 \sin \varphi_0 - N \sin \varphi) \cdot \sin \varphi_0 - (N_0 + H);$$

h - перевищення точок місцевості над поверхнею еліпсоїда.

Формули приватних масштабів довжин цих проекцій кулі приймають вигляд:

$$\mu_1 = \frac{H \cdot (D \cdot \cos \varphi_0 - R)}{D - R_0 \cos \varphi}; \quad \mu_2 = \frac{H}{D - R \cdot \cos \varphi};$$

H – висота фотографування.

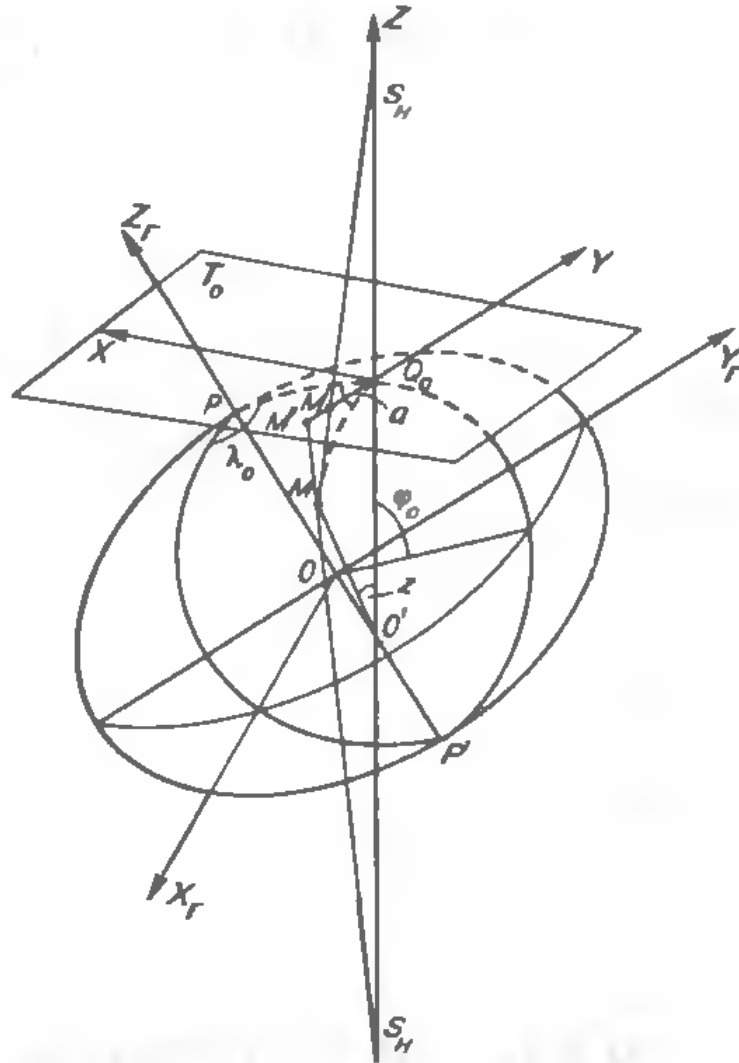


Рис.6.11. Перспективно-азимутальні проекції при відображенні на горизонтальну картинну площину

Координати даної проекції на похилу картинну площину (математичну модель перспективного кадрового космічного знімка) можна представити наступними формулами:

$$x - x_0 = -f \frac{a_1 X + b_1 Y - c_1 H}{a_3 X + b_3 Y - c_3 H};$$

$$y - y_0 = -f \frac{a_2 X + b_2 Y - c_2 H}{a_3 X + b_3 Y - c_3 H},$$

де f , x_0 , y_0 – елементи внутрішнього орієнтування знімка (f – фокусна відстань, x_0 , y_0 – прямокутні координати головної точки знімка);

a_b , b_b , c_i – спрямовуючі косинуси, які визначаються за значеннями кутових елементів зовнішнього орієнтування знімка і обчислюються в тій чи іншій прийнятій системі цих елементів.

Використання цих проєкцій дозволяє дати математичний опис космічних знімків, виконати їх перетворення для створення карт, розв'язувати, використовуючи їх, ряд задач.

6.8.6. Псевдоконічні проєкції

Псевдоконічними називаються проєкції, в яких паралелі є дугами концентричних кіл, а меридіани – криві, симетричні щодо середнього прямолінійного меридіана, на якому розташований центр паралелей (рис.6.12).

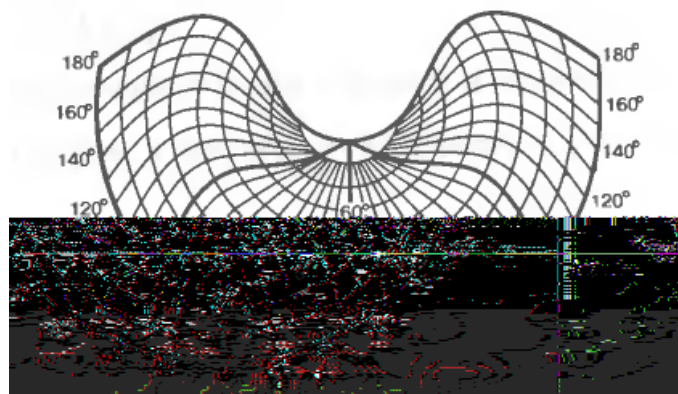


Рис. 6.12. Псевдоконічна проєкція

Рівняння цих проєкцій і формули їх характеристик можна представити у вигляді:

$$x = \rho_0 - \rho \cdot \cos \delta; \quad y = \rho \cdot \sin \delta; \quad \rho = f_1(\varphi); \quad \delta = f_2(\varphi, \lambda);$$

$$f = \rho^2 \delta_\varphi \delta_\lambda; \quad h = -\rho \rho_\varphi \delta_\lambda; \quad \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{\rho \delta_\varphi}{\rho_\varphi};$$

$$m = -\frac{\rho_\varphi}{n} \operatorname{sech} \varepsilon; \quad n = \frac{\rho \delta_\lambda}{r};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\omega}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{m^2 + n^2}{\rho - 2}}.$$

Із визначення цих проекцій виходить, що в них картографічні сітки не ортогональні, а довжини дуг меридіанів є функціями і широти, і довготи.

Отже, ці проекції не можуть бути рівнокутними і зберігати довжини уздовж меридіанів. Вони можуть бути тільки рівновеликими (в них $p = m \cdot n \cdot \cos \varepsilon = 1$) і довільними за характером спотворень.

Серед цих проекцій найбільше поширення (особливо у Франції і залежних від неї країнах) набула рівновелика псевдоконічна проекція Бонна.

6.8.7. Псевдоазимутальні проекції

Псевдоазимутальними називаються проекції, в яких паралелі зображаються концентричними колами, а меридіани - кривими або прямими, що сходяться в центрі паралелей. При цьому меридіани із довготами 0° , 360° співпадають і зображаються або прямими (рис.6.13), або кривими, в кожній точці яких мають однакову кривизну.

Проекції застосовуються тільки в косому орієнтуванні для створення ефекту сферичності при розгляді карт, створених в цих проекціях.

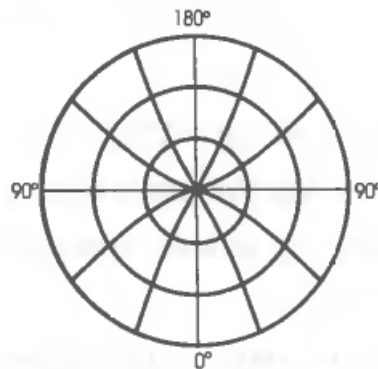


Рис.6.13. Нормальна псевдоазимутальна проекція

6.8.8. Поліконічні проекції

Поліконічними називаються проекції, в яких паралелі - дуги ексцентричних кіл із центрами, розташованими на середньому прямолінійному меридіані, а меридіани - криві, симетричні щодо середнього меридіана і екватора (рис.6.14).

Дані проєкції можуть бути рівнокутними (в них $m=n$; $\varepsilon=0$), рівновеликими (в них $p=m \cdot n \cdot \cos \varepsilon=1$) і довільними за характером спотворень. Розрізняють поліконічні проєкції в широкому значенні, серед яких найбільше використання і значення має рівнокутна проєкція, в якій всі меридіани і паралелі зображаються колами (проєкція Лагранжа).

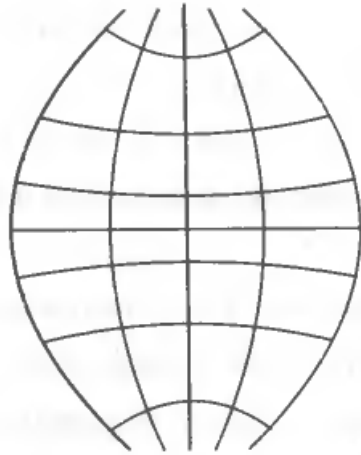


Рис.6.14. Поліконічна проєкція

У поліконічних проєкціях у вузькому значенні радіуси паралелей дорівнюють $\rho = N \operatorname{ctg} \varphi$ і приватний масштаб довжин уздовж середнього меридіана $m_0 = \operatorname{const}$, зокрема $m_0 = 1$.

Серед цих проєкцій найбільше поширення (особливо в США) набула проста поліконічна проєкція для створення карт в широкій і вузькій зонах, в яких додатково вводиться умова, що приватні масштаби довжин уздовж паралелей $n=1$.

Для створення площадкової авіаційної карти масштабу 1:1000000 в багатьох країнах використовується видозмінена проста поліконічна проєкція. Ця проєкція використовується, як багатогранна, кожний лист визначається в своєму варіанті проєкції, всі меридіани зображаються прямими лініями, відсутні спотворення довжин на крайніх паралелях і на меридіанах, віддалених від середнього на $\Delta\lambda = \pm 2^\circ$, середні паралелі визначаються пропорційним розподілом за широтою уздовж прямолінійних меридіанів

6.8.9. Проекції Гауса-Крюгера і UTM

Проекція Гауса-Крюгера визначається для картографування територій у вузькій зоні (для топографічних карт) і в широкій зоні.

У першому випадку проекцію одержують, виходячи з трьох умов:

- вона симетрична щодо середнього меридіану і екватора;
- вона рівнокутна;
- у ній на середньому меридіані немає спотворень довжин.

Проекції Гауса-Крюгера в широкій зоні одержують шляхом послідовного виконання трьох рівнокутних відображень: спочатку рівнокутно відображають еліпсоїд на поверхню кулі за способом Мольвейде, потім визначають прямокутні координати проекції кулі Гауса-Ламберта і нарешті відображають площину на площину під умовою збереження довжин на середньому меридіані.

Формули прямокутних координат, приватних масштабів довжин і зближення меридіанів проекції Гауса-Крюгера мають вигляд.

$$\begin{aligned}x &= S + \frac{\lambda^2}{2} N \cos \varphi \sin \varphi + \dots ; \\y &= \lambda N \cos \varphi + \frac{\lambda^3}{6} N \cos^3 \varphi (1 + \eta^2 - \operatorname{tg}^2 \varphi) + \dots ; \\m &= 1 + \frac{\lambda^2}{2} \cos^2 \varphi (1 + \eta^2) + \frac{\lambda^4}{24} \cos^4 \varphi (5 - 4 \operatorname{tg}^2 \varphi) ; \\ \gamma &= \lambda \sin \varphi + \frac{\lambda^3}{3} \cos^2 \varphi \sin \varphi (1 + 3 \eta^2) ,\end{aligned}$$

де S – довжина дуги меридіана від екватора до даної паралелі;

$$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi ;$$

e'^2 - квадрат другого ексцентриситету еліпсоїда.

Проекція UTM, що знайшла широке поширення в країнах НАТО, відрізняється від проекції Гауса-Крюгера тим, що в ній на середньому меридіані приватний масштаб довжин m_0 не дорівнює одиниці, як в проекції Гауса-Крюгера, а величині $m_0 = 0.9996$.

З урахуванням цього, формули зв'язку цих проекцій приймають вигляд:

- при визначенні проекції UTM в лівій системі прямокутних координат:

$$x_{UTM} = k x_{Г-К}; \quad y_{UTM} = k y_{Г-К}; \quad m_{UTM} = k m_{Г-К}; \quad \gamma_{UTM} = k \gamma_{Г-К};$$

- при визначенні проекції UTM в правій системі прямокутних координат:

$$x_{UTM} = k y_{Г-К}; \quad y_{UTM} = k x_{Г-К}; \quad m_{UTM} = k m_{Г-К}; \quad \gamma_{UTM} = k \gamma_{Г-К},$$

де $k = 0.9996$.

Нульові ізоколи в проекції UTM проходять приблизно паралельно середньому меридіану при віддаленні від нього в обидві сторони близько 200 км.

6.8.10. Проекції Чебишева. Стан розв'язання загальної проблеми пошуку найкращих проекцій

Пріоритет в постановці і розв'язанні проблеми про найкращі картографічні проекції належить російським ученим.

У 1853р. великий російський математик П.Л.Чебишев сформулював теорему про найкращі рівнокутні проекції, згідно якої найкращими із них є проекції, в яких на контурі території, що картографується, натуральний логарифм приватного масштабу довжин має постійне значення. Цю теорему в 1894 р. довів Д.А.Граве. Визначення цих проекцій зводиться до розв'язання двох задач.

Спочатку на основі розв'язання рівняння Лапласа за заданих граничних умов визначаються приватні масштаби довжин в точках області картографування за їх постійним значенням на контурі території.

Потім, записавши рівняння приватних похідних прямокутних координат за широтою і довготою з урахуванням набутих значень масштабів, визначають прямокутні координати проекції.

У даний час розроблений ряд способів обчислення проекції Чебишева, використання якої забезпечує зменшення спотворень на картах до 4 разів в порівнянні із іншими рівнокутними проекціями.

У 1898 р. Н.Я.Цингер висловив гіпотезу про отримання найкращих рівновеликих проекцій. В 1933 р. В.В.Каврайский показав недостатність цієї гіпотези, але конкретних розв'язань цієї проблеми не дав.

У 1968 р. Г.А.Мещеряков опублікував монографію, в якій критикував дослідження Н.Я.Цингера і В.В.Каврайського, сформулював і довів теорему про отримання найкращої рівновеликої проекції для картографування території півкуль. Але загального розв'язання також не дав.

Таким чином, проблема отримання найкращих рівновеликих і інших за характером спотворень проекцій поки що ще не розв'язана.

ГЛОСАРІЙ

BMP – BitMaP, bit map, bitmap, син. DIB – бітовий масив, бітовий образ простий і широко поширений формат файлу для зберігання растрових зображень у вигляді бітового двійкового масиву, розроблений фірмою Microsoft. Використовується також для експорту і імпорту зображень між додатками операційних систем Windows і OS/2. Файли апаратно незалежного BMP можуть містити зображення з глибиною пікселя 1, 4, 8 або 24 біта. Забезпечує передачу 2, 16, 256 або 16 млн. кольорів. Для 4- і 8-бітових зображень іноді застосовується стиснення RLE.

CPU – Central Processing Unit – центральний процесор.

DDE – Dynamic Data Exchange – динамічний обмін даними технологія обміну даними між додатками в середовищі операційних систем Windows і OS/2 через спеціальний буфер - область пам'яті, до якої має доступ кожний додаток.

DEM – Digital Elevation Model(s) – 1. цифрова модель рельєфу, ЦМР, син. DTM, DTED; 2. стандарт Геологічної зйомки США на цифрові моделі рельєфу. Застосовується для їх представлення в растровому форматі у вигляді матриці висотних відміток у вузлах регулярної мережі, розповсюдження і подальшого використання в якості основи для просторового аналізу в багатьох растрових ГІС. В стандарті DEM розповсюджуються 5 типів цифрових продуктів DMA, ідентичних за логічною структурою даних, та які розрізняються за кутовим розміром комірок мережі, системою координат, обхватом території і точністю.

DLG – Digital Line Graph – стандарт Геологічної зйомки США, розроблений Національним картографічним управлінням в 1980 р. Призначений для розповсюдження цифрових карт, що становлять Національну цифрову картографічну базу даних, що включає інформацію уздовж кордонів, транспортній інфраструктурі, мережі гідрографії. Стандарт підтримує векторну топологічну модель даних і може передавати мережні і полігональні структури. Атрибутивна інформація передається за допомогою каталога об'єктів і розподілу набору даних на категорії, аналогічні шарам ГІС. Існують 3 підтипи файлу, що розрізняються за внутрішньою структурою і каталогом об'єктів і відповідних топографічним картам масштабів 1:24000, 1:100000 і 1:2000000. Останні входять в

Національний атлас США. В даний час здійснюється конвертація даних з формату DLG у формат SDTS.

Ethernet – мережа Ethernet (створена фірмою Xerox в 1976 році, має шинну топологію, використовує CSMA для управління трафіком в головній лінії зв'язку). Стандарт організації локальних мереж (IBM), описаний в специфікаціях IEEE і інших організацій. IEEE 802.3. Ethernet використовує смугу 10 Mbps і метод доступу до середовища CSMA/CD. Найпопулярнішою реалізацією Ethernet є 10Base-T. Розвитком технології Ethernet є Fast Ethernet (100 Мбіт/сек).

GeoTIFF – Tagged Image File Format, син. DRG – розширення формату файлу TIFF, призначеного для передачі зображень, що мають просторову прив'язку. Розробляється лабораторією по розробці ракетних і реактивних двигунів (Jet Propulsion Laboratory) NASA. Версія 1.0, датована 1995 р., ґрунтується на специфікації TIFF версії 6.0. Базовий формат є найпопулярнішим форматом обміну зображеннями. Розпочинає використовуватися в деяких ГІС-продуктах. Формат підтримує представлення зображень, растр; додатково передається система координат, проекція, параметри геометричної корекції.

GIF – Graphics Interchange Format – формат взаємообміну графікою, формат обміну растровими графічними даними у мережі CompuServe в режимі реального часу. Розроблений CompuServe Inc. Підтримує 24-бітовий колір, реалізований у вигляді палітри RGB аж до 256 кольорів, прозорість. Граничний розмір зображення 64000×64000 пікселів. Використовується модифікована схема стиснення LZW. Формат допускає створення послідовності або перекриття множини зображень, відображення із чергуванням рядків, текст, що перекривається.

HDD – Hard Disk Drive – накопичувач інформації на “жорсткому” диску, “вінчестер”.

OLE – Object Linking and Embedding – зв'язування і вбудовування (упровадження) об'єктів технологія розділення об'єктів між прикладними програмами, розроблена фірмою Microsoft. OLE-технологія дозволяє вбудовувати або пов'язувати об'єкт зі складовими документами, що містять текст, графіку, звукові повідомлення, тощо.

RAM – Random Access Memory - оперативна пам'ять, оперативний пристрій для запам'ятовування інформації, ОЗП.

SQL – Structured Query Language – мова структурованих запитів, мова доступу до баз даних, один з найпоширеніших засобів розробки реляційних БД і обслуговування систем типу “клієнт-сервер”. В США прийнятий у якості національного стандарту.

TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol – протокол управління передачею / міжмережевий протокол, набір протоколів мережної взаємодії, фактичний стандарт для побудови глобальних мереж, що об'єднують різні мережі. Створений в кінці 60-х рр. Агентством перспективних досліджень МО США (DARPA) в процесі реалізації проекту глобальної неоднорідної мережі ARPAnet. Спочатку TCP/IP був вбудований в ОС UNIX, потім перенесений на всі поширені платформи. Всі специфікації TCP/IP і багато його реалізацій є загальнодоступними. Стек протоколів TCP/IP охоплює 4 рівні прийнятої п'ятирівневої моделі (на нижньому рівні - устаткування): мережний інтерфейс, що встановлює мережне з'єднання в мережі, до якої підключений комп'ютер; мережний рівень (протоколи IP, ICMP, IGMP), що реалізовує службу доставки пакетів у мережі; транспортний рівень (TCP, UDP), що забезпечує зв'язок машини-відправника пакетів із адресатом; прикладний рівень. Основні додатки: протокол емуляції терміналу Telnet, протокол передачі файлів FTP, протокол передачі гіпертексту HTTP, протокол електронної пошти SMTP. В мережах TCP/IP прийняті IP-адреси, що складаються з 32 біт; це чотири номери, розділені крапками. Кожний номер не перевершує 255. Старшинство номерів встановлюється зліва направо. Доменна адреса нагадує за виглядом адресу в електронній пошті; самий старший домен - перший праворуч.

Доменна адреса привласнюється провайдером кожній хост-машині. IP-адреса виділяється користувачам, що мають постійне з'єднання, або комутоване з'єднання (Dial-Up IP) за протоколом SLIP (Serial Line Internet Protocol - міжмережевий протокол послідовного каналу, - застарілий стандарт); користувачу, що виходить в Інтернет по комутованій лінії за протоколом PPP (Point-to-Point Protocol - протокол взаємодії між вузлами; призначений для заміни протоколу SLIP), IP-адреса може

привласнюватися динамічно на час сеансу. Розробляється новий стандарт на IP-адреси завдовжки 128 байт, що значно розширить доступну множину адрес.

TIFF – Tagged Image File Format – платформено-залежний формат файлу, призначений для обміну зображеннями високої якості між настільними видавничими системами і пов'язаними з ними додатками. Розробляється Aldus Corporation. Припускає два варіанти: основний і розширений. Дані змінюються згідно фотометричному типу і методу стиснення (CCITT, LZW, JPEG). Численні розширення формату приймають форму додаткових тегів в структурі файлу. Формат TIFF вважається одним з кращих форматів для bitmap: компактний і добре оперує чорно-білими і кольоровими зображеннями, а також зображеннями в градаціях сірого. Допускає передачу відеоданих: характеристики прозорості. Основним недоліком формату є велика кількість розширень, що вимагає точної передачі в заголовку типу розширення. Перспективний в якості формат передачі растрових даних між ПС системами в рамках того, що розробляється на основі 6 версії розширення GeoTIFF.

Абстракція - процедура структуризації (типізації) даних. Розрізняють два види абстракції: узагальнення і агрегація.

Автоматизована довідково-інформаційна система (АДІС) - автоматизована система обслуговування споживачів інформацією в зручній для сприйняття і переробки формі.

Агрегативні дані - набір даних для формування об'єкту із його частин на основі процедур агрегації.

Агрегація - процедура структуризації даних. Полягає в конструюванні об'єкту із інших базових об'єктів, на основі чого створюється агрегативна модель. Співвідноситься із поняттям "є деяке...".

Алгоритм - це точний припис, який визначає обчислювальний процес, що йде від варійованих початкових даних до шуканого результату.

Алгоритм векторизації – алгоритм, за яким здійснюється автоматичний пошук растрових аналогів об'єктів заданих типів (примітивів) і створюються векторні аналоги знайдених фрагментів растрового зображення.

Апаратна платформа – технічне устаткування системи обробки інформації (на відміну від програмного забезпечення, процедур, правил і документації), що включає власне комп'ютер і інші механічні, магнітні, електричні, електронні і оптичні периферійні пристрої або аналогічні прилади, що працюють під її управлінням або автономно, а також будь-які пристрої, необхідні для функціонування системи (наприклад, GPS-апаратура, електронні картографічні прилади і геодезичні прилади). Загальна організація взаємозв'язку елементів А.п. обчислювальних систем носить назву архітектури (architecture), сукупність функціональних частин - конфігурації (configuration) системи.

Атрибут - елементарне дане, що описує властивості сутностей.

Атрибутивні дані (семантика) - дані із присвоєною їм описовою інформацією (час, тема). Є другим основним класом даних в ГІС, які доповнюють координатні дані необхідними описами.

Аерофотознімок (aerial photograph, aerial photo, aerophoto, print) – двовимірне фотографічне зображення земної поверхні, одержане з повітряних літальних апаратів і призначене для дослідження видимих і прихованих об'єктів, явищ і процесів за допомогою дешифрування і вимірювань. Залежно від висоти, з якої проводиться фотографування, одержують А. великомасштабні, середньомасштабні і дрібномасштабні (висотні). Якщо відхилення осі фотографування від прямовисного не виходить за межі допустимого, виходять планові А. (vertical aerial photograph), якщо вісь має суттєвий нахил - перспективні А. (oblique, aerial photograph, perspective aerial photograph). Залежно від типу фотоплівки (photographic film), що використовується, розрізняють чорно-білі, або монохромні А. (black-and-white aerial photograph, monochrome aerial photograph), кольорові А. (colour aerial photograph), спектрозональні А. (false colour composite), а за способом друку з фотоплівки можуть бути контактні А. (contact print) і збільшені А. (enlargement print). Розрізняють одиночні А. і стереоскопічні А.;. Останні дають можливість відтворювати реалістичне тривимірне зображення при їх стереоскопічному перегляді на спеціальних стерео приладах або в процесі тривимірної візуалізації на екрані

комп'ютера. На основі А. створюють накидні монтажні і репродукції накидного монтажу – сфотографовані мозаїки суміжних знімків району досліджень; фотосхеми - зображення, одержані шляхом монтажу центральних частин нетрансформованих знімків; фотоплани - зображення, одержані шляхом монтажу трансформованих знімків; ортофотоплани – фото плани, в яких усунені спотворення за рельєфом; фотокарти - фотоплани із координатами, підписами географічних назв, зображенням рельєфу в горизонталях і іншими елементами карт.

База даних (БД) (data base, database, DB) – сукупність даних, організованих за певними правилами, що встановлюють загальні принципи опису, зберігання і маніпулювання даними. Зберігання даних в БД забезпечує централізоване управління, дотримання стандартів, безпека і цілісність даних, скорочує надмірність і усуває суперечність даних. БД не залежить від прикладних програм. Створення БД і звернення до неї (за запитом) здійснюються за допомогою системи управління базами даних (СУБД). Програмне забезпечення локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) спочатку підтримувало режим роботи, при якому робочі станції мережі посилали запити до БД, розташованої на обслуговуючому їх комп'ютері - файл-сервері (file server), одержували від нього необхідні файли, виконували сукупність операцій пошуку, вибірки і коректування - транзакцій (transaction) і посилали файли назад. При іншому режимі робочі станції ЛОМ виступають в ролі клієнтів, а сервер БД повністю обслуговує запити (як правило, записані на мові SQL) і посилає клієнтам результати, реалізуючи технологію клієнт-сервер (client/server). БД може бути розміщена на декількох комп'ютерах мережі; в цьому випадку вона називається розподіленою БД, РБД (distributed database), як і управляюча нею СУБД - системою управління розподіленими базами даних, СУРБД (distributed database management system).

БД ГІС містять набори даних про просторові об'єкти, утворюючи просторові БД (spatial database); цифрова картографічна інформація може організовуватися в картографічні бази даних, картографічні банки даних.

Буферні зони - зони, межі яких віддалені на відому відстань від будь-якого об'єкту на карті. Буферні зони різної ширини можуть

бути створені навколо вибраних об'єктів на базі таблиць зв'язаних характеристик.

Велике коло - уявне коло на земній поверхні, утворене площиною, що проходить через центр земної кулі.

Валентність - спеціальна (топологічна) характеристика вершини (вузла) мережі, що визначається кількістю ланок в ній. Кінці відособлених ліній "одновалентні". Для вуличних мереж (перетини типу "хрест") найбільш характерні чотиривалентні вузли. В гідрографії частіше за все зустрічаються тривалентні вузли.

Векторизатор (vectorizer) – програмний засіб для виконання растрово-векторного перетворення (векторизації) просторових даних.

Векторизація - процедура (ручна чи автоматизована) виділення векторних об'єктів із растрового зображення і отримання їх у векторному форматі.

Векторне представлення (vector data structure, vector data model) – син. векторна модель даних – цифрове представлення точкових, лінійних і полігональних просторових об'єктів у вигляді набору координатних пар, з описом тільки геометрії об'єктів, що відповідає нетопологічному В.п. лінійних і полігональних об'єктів або геометрію і топологічні відносини (топологію) у вигляді векторно-топологічного представлення. В машинній реалізації В.п. відповідає векторний формат просторових даних (vector data format).

Векторні (об'єктні) моделі ГІС - моделі даних ГІС, що будуються на векторах, що займають частину простору на відміну від тих, що займають весь простір растрових моделей. При побудові векторних моделей створюються цілісні об'єкти шляхом з'єднання точок прямими лініями, дугами кіл, полілініями, тому векторні моделі називають також об'єктними. Основні частини векторної моделі: геометричні об'єкти (точки, лінії і полігони); атрибути (ознаки, пов'язані з об'єктами); зв'язки між об'єктами.

Векторний малюнок - сукупність векторних об'єктів.

Векторний файл - файл, що містить інформацію про векторний малюнок.

Верифікація - процедура перевірки. Може здійснюватися автоматично або за допомогою евристичних методів, що

викликаються явною директивною користувача або які запускаються при виникненні специфічних ситуацій.

Вершина (вузол) - з'єднання, початок або кінець відрізка лінії (дуги, ланки).

Власне узагальнення - процедура співвідношення множини типів одному типу.

Висяча дуга - дуга, що має висячий вузол.

Внутрішній ідентифікатор просторового об'єкту - ціле число, що є службовим ідентифікатором системи (унікальне для кожного об'єкту даного покриття і що призначається автоматично в процесі роботи редактора). Може змінюватися системою в процесі роботи.

Внутрішній ключ - стовпець в реляційній моделі, що однозначно визначає кожний рядок таблиці.

Вузол висячий - вузол, що належить тільки одній дузі, біля якої початкова і кінцева вершини не співпадають.

Вузол нормальний - вузол, що належить трьом і більше дугам. Нормальним також є вузол, що належить двом дугам, одна з яких самозамкнута в цьому вузлі, а інша примикає до неї.

Вирівняна поверхня - поверхня, що створює тіло, обмежене поверхнею води океанів. Основна її властивість полягає в тому, що потенціал сили тяжкості на ній має одне і те ж значення. Іншими словами, ця поверхня скрізь перпендикулярна прямовисній лінії, тобто скрізь горизонтальна.

Генералізація - в ГІС є набором процедур класифікації і узагальнення, призначеного для відбору і відображення картографічних об'єктів відповідно масштабу, змісту і тематичній спрямованості створюваної цифрової карти. Щодо інформаційного моделювання те, що генералізує, може бути розглянута як група методів, що дозволяють зберегти інформативність навіть при зменшенні об'єму даних.

Геоінформаційна система - автоматизована інформаційна система, призначена для обробки просторово-часових даних, основою інтеграції яких служить географічна інформація.

Геоінформатика (GIS technology, geo-informatics) – наука, технологія і виробнича діяльність з наукового обґрунтовування, проектування, створення, експлуатації і використання географічних інформаційних систем, з розробки геоінформаційних технологій,

або ГІС-технологій (GIS technology), за прикладними аспектами, або додатками ГІС (GIS application) для практичних або геонаукових цілей. Входить складовою частиною (з однієї із точок зору) або наочно і методично перетинається з геоматикою.

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

Геокодування - з'єднання табличних даних адресних файлів із географічним положенням об'єктів.

Геоїд - загальна фігура Землі, утворена поверхнею, яка співпадає з поверхнею Світового океану в стані спокою і рівноваги і продовжена під материками.

Граф - графічна схема, що включає основні елементи графа, які називаються вершинами (вузлами) і ланками (ребрами, дугами). На відміну від довільно намальованої схеми графова форма моделей, як і таблична форма представлення моделей, будується за певними правилами.

Граф неорієнтований - граф, в якому ребра не орієнтовані, тобто можливий шлях від однієї вершини до іншої в обох напрямках.

Граф орієнтований - граф, в якому кожне ребро орієнтовано, тобто визначений шлях від однієї вершини до іншої. Прикладом служить вектор в аналітичній геометрії.

Граф покриття – граф, відповідний (гомоморфний) лінійній мережі районів покриття. Ребра такого графа представляють межі між районами, а його вузли (вершини) представляють точки, в яких збігаються три (або більше) райони. Ступінь вершини такого графа – це число районів, які в ній збігаються. Прикладом може служити контурна карта відповідних районів.

Графова форма представлення моделей - форма, яка дає представлення моделі або її характеристик у вигляді одного або сукупності взаємозв'язаних графів.

Даталогічна модель ГІС - модель логічного рівня опису геоінформаційної системи, що складається з логічних записів і відображення зв'язків між ними безвідносно до виду реалізації.

Довгота - кут в площині екватора між меридіаном точки і головним (нульовим) меридіаном, що проходить через Грінвіч

(Англія). Вона змінюється від -180° (західна довгота) до $+180^{\circ}$ (східна довгота).

Екземпляція — процедура (зворотна класифікації) породження реалізації на основі відомої класифікації.

Експертні системи (ЕС) - клас автоматизованих інформаційних систем, що містять бази даних і бази знань, здатних здійснювати аналіз і корекцію даних незалежно від санкції користувача, аналізувати і ухвалювати рішення як за запитом, так і незалежно від запиту користувача, і виконувати ряд аналітично - класифікаційних задач.

Електронна карта (electronic map) – картогр. зображення, візуалізоване з використанням програмних і техн. засобів в заданій проекції, розмірності, системі умовних знаків на відеоекрані (дисплеї) комп'ютера на основі даних цифрових карт або баз даних ГІС. При необхідності Е. к. може бути трансформована і доповнена новими даними (напр., поточною оперативною інформацією).

Запис даних - формалізоване представлення складної інформаційної моделі без опису її структури. Запис може бути логічним і фізичним.

Запис логічний - інформаційна одиниця, відповідна одному кроку обробки інформації.

Запис фізичний - порція інформації, яка є одиницею обміну даними між внутрішньою і зовнішньою пам'яттю ЕОМ.

Зовнішній ключ - стовпець в реляційній моделі, що підтримує зв'язок між різними реляційними таблицями.

Земельний кадастр – це відкрита для суспільства інформація про права на об'єкти нерухомості, яке може містити різну описову інформацію про характеристики об'єктів нерухомості.

Знак - елементарна одиниця інформації, що є реалізацією властивостей об'єкту в наперед заданій, структурно організованій знаковій системі. Знак можна розглядати як реалізацію типу, тип - як узагальнення сукупності знаків. Отже, знак представляє індивідуальні властивості моделі, а тип - її загальні властивості.

Ієрархічна модель - модель структури процесу або системи, структурна схема якої є орієнтованим графом. Складається із сукупності початкових і породжених типів записів (рівнів),

зв'язаних однією дугою або декількома дугами. Допускає зв'язки рівнів типу один до багатьох ($1:N$) або один до одного ($1:1$).

Ієрархічний шлях (маршрутизація) - послідовність типів записів ієрархічної моделі, що починається із кореневого запису, в якому типи записів виступають поперемінно в ролях початкового і породженого.

Ізоколи - лінії, що сполучають на карті точки із однаковими значеннями спотворень, обумовлених властивостями картографічної проекції. Форма ізоколів залежить від виду проекції. В конічних проекціях ізоколи мають форму дуг, в азимутних - концентричних кіл, в циліндрових - паралельних прямих.

Кадастр - карти та інші описи земельних ділянок з ідентифікацією всіх, хто має юридичні права на земельну власність.

Кадастрові карти - графічні відображення юридичних описів земельних ділянок.

Карта – зменшене зображення всієї земної поверхні або окремої її частини, складене на площині з урахуванням кривизни Землі.

Картографічна проекція – (map projection, projection) - математично визначений спосіб зображення поверхні Земної кулі або еліпсоїда (або ін. планети) на площині. Загальне рівняння К.п. зв'язує геодезичні широти (B) і довготи (L) з прямокутними координатами x і y на площині: $x = f_1(B,L)$; $y = f_2(B,L)$, де f_1 і f_2 - незалежні, однозначні і кінцеві функції. Всі К.п. володіють тими чи іншими спотвореннями (distortions, alterations), що виникають при переході від сферичної поверхні до площини. За характером спотворень К.п. підрозділяють на рівнокутні проекції (conformal projections, orthomorphic projections), що не мають спотворень кутів і напрямів, рівновеликі проекції (equivalent projections, equal-area projectins, authalic projections), що не містять спотворень площ, рівнопроміжні проекції (equidistant projections), що зберігають без спотворень який-небудь один напрям і довільні проекції, в яких в тій чи іншій мірі містяться спотворення кутів і площ. Головний масштаб карти показує ступінь зменшення лінійних розмірів еліпсоїда при його зображенні на карті. Спотворення масштабу виявляються в наявності приватного масштабу карти в будь-якій її точці. Під цим розуміється відношення довжини нескінченно

малого відрізка на карті до довжини нескінченно малого відрізка на поверхні еліпсоїда. Мірою спотворень в К.п. в кожній точці карти служить нескінченно малий еліпс спотворень. Існують спеціальні карти, що ілюструють розподіл спотворень різних видів за допомогою ізограм - ізоліній рівних спотворень. Залежно від положення сферичних координат К.п. ділять на нормальні проекції, в яких вісь сферичних координат співпадає із віссю обертання Землі, поперечні проекції, в яких вісь сферичних координат лежить в площині екватора і косі проекції, коли вісь сферичних координат розташована під кутом до земної осі. Відмінність вимог до карт різного просторового обхвату, тематики і призначення, а також самі особливості конфігурації території, що картографується, і її положення на Земній кулі привели до величезного різноманіття К.п. За видом меридіанів і паралелей нормальної сітки розрізняють наступні К.п.: циліндрові проекції, в яких меридіани зображені рівновіддаленими паралельними прямими, а паралелі - прямими, перпендикулярними до них; конічні проекції з прямими меридіанами, що виходять із однієї точки, і паралелями, представленими дугами концентричних кіл; азимутальні проекції, в яких паралелі зображаються концентричними колами, а меридіани - радіусами, проведеними із загального центру цих кіл; псевдоциліндрові проекції, де паралелі представлені паралельними прямими, а меридіани - у вигляді кривих, що збільшують свою кривизну у міру віддалення від прямого центрального меридіана; псевдоконічні проекції, в яких паралелі представлені дугами концентричних кіл, середній меридіан - прямою, а решта меридіанів - кривою; поліконічні проекції, в яких паралелі зображені ексцентричними колами, центри яких лежать на прямому центральному меридіані, а всі інші - кривими лініями, що збільшують кривизну з віддаленням від центрального меридіана; умовні проекції, в яких меридіани і паралелі на карті можуть мати саму різну форму. Для карт, що створюються у вигляді серій листів, використовують багатогранні проекції, параметри яких можуть мінятися від листа до листа або групи листів. Комп'ютерні технології дозволяють розраховувати К.п. будь-якого вигляду і з наперед заданим розподілом спотворень. Іноді К.п. помилково називають сітку меридіанів і паралелей на карті .

Квадратомічне дерево - ієрархічна модель із зв'язком 1:4. В цій структурі початковий рівень рекурсивно підрозділяється на чотири породжені рівні.

Класифікація - процедура абстракції (структуризації) даних. Полягає в співвідношенні множини знаків одному типу.

Координатні дані (місце) - один із основних класів геоінформаційних даних, використовується для вказівки місцеположення досліджуваного об'єкту на земній поверхні.

Мале коло - уявне коло на земній поверхні, утворене площиною, що не проходить через центр земної кулі.

Математична модель – наближений опис якого-небудь класу явищ зовнішнього світу, виражений за допомогою математичної символіки.

Меридіан - лінія перетину площин географічних меридіанів із землею поверхнею.

Метадані - додаткова інформація про дані, наприклад, описувачі таблиць, стовпців, тощо. Звичайно зберігаються в словнику даних (data dictionary).

Модель – інтерпретація формальної мови.

Моделі аналогові - моделі, які створені на основі фізичного або математичного моделювання (аналітичного опису), наприклад цифрова модель рельєфу, побудована на основі аналітичного опису поверхні.

Моделі динамічні - моделі, що служать для опису зміни процесів і моделей. Допускають зміну параметрів і структур в часі.

Моделі дискретні - моделі, засновані на заміні безперервних функцій набором дискретних значень аргументів і функцій. Дискретність визначається кроком квантування. Для необхідності збереження інформативності дискретної моделі у відношенні до об'єкту крок квантування повинен вибиратися з урахуванням теореми Шенона-Котельникова.

Моделі сильно типізовані - моделі, в яких більшість даних задовольняє деяким умовам і обмеженням і може бути віднесена до вузького підкласу (типу).

Моделі слабо типізовані - моделі, в яких дані різномірні за форматом, структурою і слабо зв'язані умовами відносно відомих типів.

Моделі статичні - моделі, інваріантні відносно часу.

Моделювання інваріантне - моделювання, засноване на роботі з повністю або частково уніфікованими інформаційними елементами або структурами. Є можливість використання групових операцій, що підвищує продуктивність праці в порівнянні з індивідуальним моделюванням. Інваріантність припускає використання загальних властивостей модельованих об'єктів (властивостей типів або класів) безвідносно до індивідуальних характеристик окремих об'єктів. Прикладом можуть служити оверлейні процедури.

Моделювання інформаційне - моделювання, пов'язане із створенням і перетворенням різних форм інформації, наприклад графічної або текстової, у вигляд, що задається користувачем. В сучасних інформаційних системах воно здійснюється шляхом створення підсистеми документаційного забезпечення.

Моделювання семантичне - моделювання, пов'язане із задачами кодування і лінгвістичного забезпечення. В ГІС частка семантичного моделювання велика на стадії збору інформації, що обумовлене великим об'ємом і різноманітністю вхідної інформації, складністю її структури, можливою наявністю помилок.

Моделювання евристичне - моделювання, засноване на інтерактивній обробці, застосовується при необхідності експертних рішень, при обліку дуальних властивостей об'єктів на відеозображеннях і при розв'язанні спеціальних нетипових задач. В ГІС і САПР воно виражається в тому, що спілкування користувача з ЕОМ здійснюється на основі сценарію, що враховує, з одного боку, технологічні особливості програмного забезпечення, з іншого - особливості і досвід обробки даної категорії об'єктів.

Модель "сутність-зв'язок" (ER-модель (Entity Relationship Model)) - графова модель, що дає уявлення про предметну область у вигляді об'єктів, які називаються сутностями, між якими фіксуються зв'язки. Для кожного зв'язку визначене число зв'язаних нею об'єктів. На схемі сутності зображаються прямокутниками, зв'язки - ромбами. Число зв'язаних об'єктів указується цифрою на лінії з'єднання об'єкту і зв'язку. В ER-моделі допускаються представлення зв'язків типу "один до одного" (1:1), "один до

багатьох" (1:M), "багато до одного" (M:1), "багато до багатьох" (M:N).

Номенклатура - система позначень окремих листів топографічних карт.

Об'єкт – позначення просторового елементу, який також називається геоелементом, якому можуть бути підпорядкована геометрія і тематика. Кожний об'єкт належить до класу об'єктів, властивості якого визначає об'єкт.

Оверлейна операція – 1. операція накладення один на одного двох або більше шарів, в результаті якої утворюється графічна композиція, або графічний оверлей початкових шарів (graphic overlay) або один похідний шар, що містить композицію просторових об'єктів початкових шарів, топологію цієї композиції і атрибути, арифметично або логічно похідні від значень атрибутів початкових об'єктів в топологічному О. (topological overlay) векторних представлень просторових об'єктів. Виконання операції топологічного оверлею часто вимагає "очищення" (cleaning) похідного шару від, як правило дрібних, паразитних, або помилкових полігонів (spurious polygons), що утворюються через неузгодженість меж початкових шарів (наприклад, в результаті помилок оцифровки), що одержали також найменування голкоподібних полігонів (sliver polygons, slivers) за їх характерну голчатість, лучинообразну форму; 2. група аналітичних операцій, зв'язана або обслуговуюча операцію О. в попередньому значенні; до них відносяться операції О. одно- і різнотипних шарів і розв'язання пов'язаних з ним задач визначення приналежності точки полігону (point-in-polygon), обладнання лінії полігону (line-in-polygon), накладення двох полігональних шарів (polygon-on-polygon), тощо, знищення меж однойменних класів полігонального шару із породженням нового шару (dissolving); - 3. синонім шару.

Оцифровка – процес перетворення даних з паперових карт в комп'ютерні файли.

Паралель - лінія, утворена перетином площини, паралельної площині земного екватора, з поверхнею Землі.

Первинний атрибут відношення - атрибут, присутній принаймні в одному ключі, всі інші атрибути не первинні.

Первинний ключ - стовпець (або комбінація стовпців), значення в яких однозначно ідентифікують кожний *рядок реляційної моделі*.

Піксель (комірка) - мінімальний елемент растрової моделі, двомірний елемент простору.

План – зменшене і подібне зображення на площині окремої невеликої ділянки місцевості.

Площина географічного (астрономічного) меридіану - площина, що проходить через вісь обертання Землі і прямовисну лінію в точці земної поверхні.

Площина земного екватора - площина, що проходить через центр Землі перпендикулярно до осі обертання.

Позиційна точність координатних даних - ступінь відхилення даних ГІС про місцезнаходження об'єкту від його істинного положення на місцевості.

Покриття - набір файлів, що відображають просторові об'єкти (точки, дуги, полігони) і структуру відносин між ними.

Полігон - просторова область, обмежена впорядкованим набором зв'язаних дуг, які утворюють замкнутий контур.

Призначений для користувача ідентифікатор (внутрішній ключ) просторового об'єкту - ціле число, призначене для зв'язку об'єктів цифрової карти з базою (таблицями) тематичних даних, що призначається користувачем.

Покрокова деталізація - процедура, зворотна агрегації. Застосовується для розбиття агрегативної моделі на складові частини.

Предметна область - підмножина (частина реального світу), на якій визначається набір даних і методів маніпулювання ними для розв'язання конкретних задач або досліджень.

Проекції довільні - проекції, які мають спотворення кутів, площ і довжин, та ці спотворення розподілені уздовж карти, наприклад, так, що мінімальні спотворення є в центральній частині і зростають до країв. Серед довільних проекцій виділяють рівнопроміжні (equidistant projection), в яких спотворення довжин відсутні уздовж одному з напрямів: уздовж меридіану чи уздовж паралелі.

Проекції рівновеликі - проекції, які не спотворюють площ, та спотворюють кути і форми об'єктів.

Проекції рівнокутні - проекції, в яких зберігаються без спотворень кути і форми малих об'єктів, та різко деформуються довжини і площі об'єктів.

Проекційні перетворення - група математичних процедур ГІС, що здійснюють перехід від однієї картографічної проекції до іншої або від просторової системи до картографічної проекції.

Псевдовузол - вузол, що належить тільки двом дугам або одній замкнутій дузі, біля якої початкова і кінцева вершини співпадають.

Розграфка карти – система розподілу багатолісної карти на листи. Частіше за все застосовуються два види Р.к.: прямокутна Р.к., коли карта ділиться на прямокутні або квадратні листи однакового розміру і трапецевидна Р.к., при якій межами листів служать меридіани і паралелі. В деяких випадках, для зручності користування Р.л. може даватися із більш менш значними перекриттями листів, напр., для морських навігаційних карт. Державні топографічні і тематичні карти звичайно мають стандартну Р.к., яка кладеться в основу системи номенклатури карт.

Роздільна здатність (resolution) – 1. здатність вимірювальної системи (пристрою знімання даних - сенсора, знімача, приймача) або пристрою відображення забезпечувати розрізнення деталей об'єкту або його зображення і міра, що використовується для оцінки Р.з. як розміру найменшого із розрізняних об'єктів (елементів Р.з.) і що виражається в числі точок на дюйм (наприклад, для матричних або лазерних принтерів), в числі ліній на см, мм або дюйм, LPI (для систем дистанційного зондування), пристроїв відрядкового сканування зображень), в числі рядків і стовпців растру відеоекрану, в кутовому або лінійному розмірі пікселя, у розмірі найменшого із розрізняних об'єктів на місцевості (в м, км); - 2. в дистанційному зондуванні - окрім Р.з. (1), званого просторовим дозволом (spatial resolution) зйомки (знімків), який залежить від освітленості об'єктів, їх яскравості, спектральних характеристик і технічних параметрів зйомки, розрізняють температурну, кутову, спектральну (палітра і кількість відтінків), радіометричну, часову Р.з.

Растрова графіка – новітня форма комп'ютерної графіки. Центральний елемент - піксель. В даний час завдяки високому ступеню дозволу екранів растрового зображення розрізняють пасивну і інтерактивну візуалізацію. Розподіл растрових точок є ієрархічним методом перетворення в просторовому зберіганні даних, при цьому область, що підлягає обробці, ділиться на растрові комірки однакової величини. Перетворення дане через індекси рядків і стовпців, які можна організувати як матриці.

Растрова модель (растр) ГІС - дискретна модель, в якій у якості атомарної використовують двомірний елемент простору - піксель (комірку). Впорядкована сукупність атомарних моделей утворює растр, який у свою чергу є моделлю карти або геооб'єкту. В растрових моделях дискретизація здійснюється шляхом відображення геооб'єктів у просторові комірки, що створюють регулярну мережу. При цьому кожній комірці відповідає однаковий за розмірами, та різний за характеристиками (колір, густина) ділянка поверхні об'єкту. В комірці моделі міститься одне значення, що усереднює характеристики ділянки поверхні об'єкту. В теорії обробки зображень ця процедура відома під назвою пікселізація. Якщо векторна модель дає інформацію про те, де розташований той чи інший об'єкт, то растрова модель дає інформацію про те, що розташоване в тій чи іншій точці території. Це визначає основне призначення растрових моделей - безперервне відображення поверхні. Основні характеристики растрових моделей:

- значення - елемент інформації, що зберігається в елементі растру (пікселі);
- орієнтація - кут між напрямом на північ і положенням колонок растру;
- роздільна здатність - мінімальний лінійний розмір найменшої ділянки простору (поверхні), що відображається одним пікселем. Більш високою роздільною здатністю володіє растр з меншим розміром комірок. Висока роздільна здатність має на увазі велику кількість деталей, множину комірок, дрібний розмір комірки.

Реляційна модель - таблична модель даних, основним засобом структуризації в якій є відношення. Таблиця складається із рядків і стовпців і має ім'я, унікальне усередині бази даних. Таблиця

відображає тип об'єкту реального світу (сутність), кожний її рядок - конкретний об'єкт, кожний стовпець - атрибут. Сутності, атрибути і зв'язки зберігається в таблицях як дані певного типу. В реляційних моделях даних не передбачається підтримка логічної впорядкованості, проте кортежі поміщаються у фізичну пам'ять відповідно до деякого порядку. Фізична впорядкованість використовується для вибірки.

Референц - еліпсоїд - еліпсоїд, який використовується в якості математичної моделі Землі.

Система управління базами даних, СУБД (data base management system, DBMS) – комплекс програм і мовних засобів, призначених для створення, ведення і використання баз даних. СУБД підтримують, як правило, одну з трьох найпоширеніших моделей (схем) даних: реляційну (relational data model), ієрархічну (hierarchical data model) або мережну (network data model). Більшість сучасних комерційних СУБД відноситься до реляційного типу. Необхідність зберігання складних даних, які включають відео, звук, привела до появи об'єктно-реляційних СУБД. В розрахованих на багато користувачів, багатозадачних операційних системах СУБД забезпечують сумісне використання даних. Мовні або інші засоби СУБД підтримують різні операції з даними, включаючи введення, зберігання, маніпулювання, обробку запитів, пошук, вибірку, сортування, оновлення, зберігання цілісності і захист даних від несанкціонованого доступу або втрати. Використовується як засіб управління атрибутивною частиною просторових даних ГІС; як правило, це комерційні реляційні СУБД (relational DBMS, RDBMS), в яких користувач сприймає дані як таблиці (тому і називаються таблицями реляційних баз даних, або, не цілком правильно, "реляційними таблицями", таблицями атрибутивних даних). Більшість програмних засобів ГІС має механізми імпорту даних із найпоширеніших СУБД, включаючи dBASE, Foxbase, Informix, Ingres, Oracle, Sybase і ін.

Сканування (scanning) – аналого-цифрове перетворення зображення в цифрову растрову форму за допомогою сканера (1); один із способів або етапів цифрування графічних і картографічних джерел для їх векторного представлення, що передуює процесу растрововекторного перетворення (векторизації). Окрім сканера,

при С. можуть використовуватися скануючі головки графічних пристроїв, цифрові відеокамери або фотоапаратура. Часто розглядається як альтернатива цифрованню за допомогою оцифровувачів (2) з ручним обводом.

Спеціалізація - процедура (зворотна узагальненню) породження типів на основі загального класу типів.

Сутність - елемент моделі (сукупність атрибутів і знаків), що описує закінчений об'єкт або поняття.

Таблична форма представлення моделей - форма, яка дає представлення моделі або її характеристик у вигляді однієї або сукупності взаємозв'язаних таблиць. При цьому дані в елементах таблиці не можуть заноситися довільно, вони підкоряються певним правилам, зокрема у стовпцях розташовують дані, що типізуються.

Тип - сукупність моделей або об'єктів, з'єднана загальним набором ознак або клас подібних знаків.

Типізація - процедура об'єднання даних за набором заданих ознак або виділення із множини даних тих, які задовольняють заданим критеріям (або ознакам).

Тип запису ієрархічної моделі - вершина в графівій формі ієрархічної моделі, відповідна типу сутності.

Типи координатних даних в ГІС: точки (вузли, вершини); лінії (дуги, ланки); полігони (райони, ареали).

Топологічні властивості (фігур) - властивості, які не змінюються при будь-яких деформаціях, вироблюваних без розривів або з'єднань.

Топологічні характеристики:

- зв'язаність векторів - контури, дороги та інші вектори повинні зберігатися як взаємозв'язані об'єкти, а не незалежно;
- зв'язаність і примикання районів - інформація про взаємне розташування районів і про вузли перетину районів;
- перетин - інформація про типи перетину (валентності) дозволяє відтворювати мости і дорожні перетини;
- близькість - показник просторової близькості лінійних або ареальних об'єктів.

Топологічний опис (об'єктів ГІС) - опис, який визначається зв'язаністю і взаємним розташуванням лінійних об'єктів.

Трансформація (ректифікація) - різновид процедур проєкційних перетворень. Застосовується для перетворення координат точок знімка в іншу проєкцію. Окремим випадком є перетворення плоского зображення в плоске з метою усунення перспективних спотворень.

Узагальнення - процедура абстракції (структуризації) даних, співвідноситься з поняттям: "є частина...". Узагальнення акцентує схожість об'єктів, абстрагуючись від відмінностей. Підрозділяється на дві категорії: власне узагальнення і класифікацію.

Урівнена поверхня – поверхня, утворююча тіло, обмежене поверхнею води океанів. Основна її властивість полягає в тому, що потенціал сили тяжіння на ній має одне і те ж значення. Іншими словами, ця поверхня всюди перпендикулярна прямовисній лінії, тобто всюди горизонтальна.

Файл – поймає область даних на машинних носіях інформації. Може містити дані або програму.

Фізична модель ГІС - модель середовища зберігання даних фізичного рівня. Будується з урахуванням реальних інструментальних систем і на їх основі. Може розглядатися як реалізація даталогічної моделі.

Фільтр - спеціальний алгоритм, що використовується в процедурі обробки зображення.

Фільтрація - процедура, яка використовується для підвищення якості або виділення частини растрового зображення. При фільтрації програма аналізує інформацію про колір растрових точок, розташованих в навколо кожної точки, і міняє або залишає без зміни колір цієї точки згідно одному з алгоритмів фільтрації (фільтру).

Характеристики геоінформаційних даних - дані реального світу, що відображаються в ГІС. Характеризуються з урахуванням трьох аспектів: просторового (пов'язаного із визначенням місцеположення), часового (пов'язаного із змінами об'єкту або процесу у часі, зокрема, від одного часового зрізу до іншого) і тематичного (пов'язаного із виділенням одних ознак об'єкту і виключенням з розгляду інших).

Цифрова карта (digital map) – цифрова модель карти, створена шляхом цифрування картогр. джерел, фотограмметричної

обробки матеріалів дистанційного зондування, цифрової реєстрації даних польових зйомок, або іншим способом. По суті термін "Ц. к." означає саме цифрову модель, цифрові картогр. дані. Ц. к. створюється з повним дотриманням нормативів і правил картографування, точності карт, генералізації, системи умовних позначень, Ц. к. служить основою для виготовлення звичних паперових, комп'ютерних, електронних карт, вона входить до складу картогр, баз даних, складає один з найважливіших елементів інформаційного забезпечення ГІС і одночасно може бути результатом функціонування ГІС.

Цифрова модель місцевості, ЦММ (digital terrain model, DTM) – син. **математична модель місцевості**, МММ – цифрове представлення просторових об'єктів, відповідних об'єктовому складу топографічних карт і планів, що використовується для виробництва цифрових топографічних карт; "множина, елементами якої є топографо-геодезична інформація про місцевість і правила поводження з нею".

Цифрова модель рельєфу, ЦМР (digital terrain model, DTM; digital elevation model, DEM; Digital Terrain Elevation Data, DTEM) – засіб цифрового представлення 3-мірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів) у вигляді тривимірних даних (three-dimensional data, 3-dimensional data, 3-d data, volumetric data) як сукупності висотних відміток (heights, spotheights) або відміток глибин (depths, spotdepths) і інших значень аплікати (координати Z) у вузлах регулярної мережі з утворенням матриці висот (altitude matrix), нерегулярної трикутної мережі (TIN) або як сукупність записів горизонталей (ізогіпс, ізобат) або інших ізоліній (contours, contour line, isoline, isarithms, isarithmic lines). Найпоширенішими способами цифрового представлення рельєфу є растрове представлення і особлива модель просторових даних, заснована на мережі TIN і апроксимуюча рельєф багатогранною поверхнею з висотними відмітками у вузлах трикутної мережі. Процес цифрового моделювання рельєфу включає створення ЦМР, їх обробку і використання. Джерелами початкових даних для створення ЦМР суші служать топографічні карти, аерознімки і космічні знімки, дані альтиметричної зйомки, супутникових систем позиціонування, нівеляції та інших методів топографічної зйомки;

підводного рельєфу акваторій, морські навігаційні карти, дані промірних робіт, ехолотування у тому числі з використанням гідролокатора бічного огляду; рельєфу поверхні і ложа льодовиків ~ аерозйомка, матеріали фототеодолітної і радіолокаційної зйомки. Обробка ЦМР служить для отримання похідних морфометричних або інших даних, включаючи обчислення кутів нахилу і експозиції схилів; аналіз видимості/невидимості; побудова тривимірних зображень, у тому числі блок-діаграм; профілів поперечного перетину; оцінку форми схилів через кривизну їх поперечного і подовжнього перетину, вимірювану радіусом кривизни головного нормального перетину або її знаком, тобто опуклість/угнутість; обчислення позитивних і негативних об'ємів; генерацію ліній мережі тальвегів і вододілів, що створюють каркасну мережу рельєфу, його структурних ліній, або сепаратрис і інших особливих точок і ліній рельєфу: локальних мінімумів, або впадин і локальних максимумів, або вершин, сідловини, брівок, ліній обривів і інших порушень "гладкості" поверхні, плоских поверхонь із нульовою крутизною; інтерполяцію висот; побудову ізоліній за множиною значень висот; автоматизацію аналітичного відмивання рельєфу шляхом розрахунку відносних освітлень схилів при вертикальному, бічному або комбінованому освітленні від одного або більше джерел; цифрове ортотрансформування зображень та інші обчислювальні операції і графоаналітичні побудови. Методи і алгоритми створення і обробки ЦМР застосовні до інших фізичних або статистичних рельєфів і полів: похороненому рельєфу, баричному рельєфу, тощо (ряд дослідників і напрямів розрізняють цифрові моделі висот і похідні від них цифрові моделі рельєфу; в цьому випадку під останніми розуміється сукупність похідних морфометричних показників; необхідність розрізнення пов'язана частково з найменуванням і змістом американського стандарту на ЦМР; багатозначність слова "terrain" є також підставою для його тлумачення і використання в поєднанні "digital terrain model" як цифрових моделей місцевості, закріпленому в "ДСТУ 22268-76. Геодезія. Терміни і визначення"; розвиток методів ЦМР шляхом обробки зображень на цифрових фотограмметричних станціях привів до появи терміну "цифрова модель поверхні" як її первинного продукту, що потребує рафінування.

Шар - покриття, що задається його тематичною визначеністю (рослинність, рельєф, адміністративний розподіл, тощо) і координатною приналежністю (точковий, лінійний, полігональний).

Широта - кут між точкою і екватором уздовж меридіану. Змінюється від -90° (південний полюс) до $+90^{\circ}$ (північний полюс).

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АІСДМК - автоматизована інформаційна система державного міського кадастру
АДІС - автоматизована довідково-інформаційна система
АКС - автоматизована кадастрова система
АМ – атомарна модель
АС - автоматизована система
АСДЗ - автоматизована система документаційного забезпечення
АСК - автоматизована система картографування
АСКК - автоматизована система кадастрового картографування
АСНД - автоматизована система наукових досліджень
АСПР - автоматизована система прийняття рішень
АСУ - автоматизована система управління
АФС - автоматизована фотограмметрична система
БД - база даних
ГАСУ - галузева автоматизована система управління
ГІС - геоінформаційна система
ГПЗ – гравітаційне поле Землі
ЕК - електронна карта
ЕОМ – електронна обчислювальна машина
ЕС - експертна система
ЗЗЕ – загальний земний еліпсоїд
ІМ - ієрархічна модель
КГК – космічний геодезичний комплекс
КГМ – космічна геодезична мережа
КО – космічний апарат
КТЗ - комплекс технічних засобів
ЛЕП – лінія електропередач
ЛМ – локальна мережа
ЛОМ - локальна обчислювальна мережа
МД – модель даних
МО – модель об'єкту
НАСА - Національна космічна асоціація США
НКА – навігаційний космічний апарат
НТ - нормативні вимоги

ПЗ – програмне забезпечення
ПК – персональний комп'ютер
ППЗ – прикладне програмне забезпечення
РМ - реляційна модель
РС – робоча станція
САПР - система автоматизованого проектування
СНС - супутникова навігаційна система
СРСР – Союз Радянських Соціалістичних Республік (країна)
СУ – система управління
СУБД - система управління базами даних
ТЗ - технічне завдання
УМХ - (системний) рівень моделювання і зберігання
УП - (системний) рівень представлення інформації
УСО - (системний) рівень збору і обробки первинних даних
ЦКІ - цифрова картографічна інформація
ЦМК - цифрова модель карти
ЦММ - цифрова модель місцевості
ЦМО - цифрова модель об'єкту
ЦМР - цифрова модель рельєфу
ШСЗ - штучний супутник Землі

ЛІТЕРАТУРА

1. Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. – М.: 1997. -64 с.
2. Берлянт А.М. Картография. Толкование основных терминов – М.: ГИС-Ассоциация, 1998. С. 91–104.
3. Бугаевский Л.М., Вахрамеева Л.А. Картографические проекции. -М.:Недра, 1992. -293с.
4. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. 204с.
5. Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д. Атлас для выбора картографических проекций / Тр. ЦНИИГАиК. М., 1957. Вып. 110. - 510с.
6. Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д. Пособие по математической картографии / Тр. ЦНИИГАиК. М., 1964. -456с.
7. Коновалова Н.В., Капралов Е.Г. Введение в ГИС. Учебное пособие. Изд-е 2-е исправленное и дополненное. – М.: ООО “Библион”, 1997. 160 с.
8. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. – М.: СП ”Дата+”, 1998. 118 с.
9. Королев Ю.К. Общая геоинформатика. Ч.1. Теоретическая геоинформатика. Вып. 1, М.: СП «Дата+», 1998.
10. Кошкарев А.В. Геоинформатика. Толкование основных терминов – М.: ГИС-Ассоциация, 1998. С. 81–90.
11. Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика,- М.: Картоцентр - Геодезиздат, 1993.-213 с.
12. Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. Справочное пособие. М.: 1997. 213 с.
13. Лабенко Д.П. Конспект лекцій з дисципліни “Геоінформаційні системи” – Харків: ХНАДУ, 2009. – 104 с.
14. Лабенко Д.П. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни “Геоінформаційні системи”. Харків, ХНАДУ, 2011 р. – 68 с.
15. Лабенко Д.П. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Геоинформационные системы”. Харьков, ХНАДУ, 2011 г. – 68с.

16. Тикунов В.С. Моделирование в картографии: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1997. 405 с.

17. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: "Финансы и статистика"; 1998.-287с.

Internet-джерела

- 1.** Web-сайт ГИС-Ассоциации: <http://www.ru/gisa> .
- 2.** Электронная библиотека ГАГУ, <http://e-lib.gasu.ru/>
- 3.** Геоинформационные системы, <http://www.dataplus.ru/>
- 4.** Академия САПР и ГИС, <http://www.cadacademy.ru/>
- 5.** Информационный сервер объединённого научного совета по проблемам геоинформатики, <http://www.scgis.ru/>
- 6.** Геоинформационные системы, <http://www.gisok.spb.ru/>
- 7.** <http://www.mapinfo.com/> – Web-сайт корпорации MapInfo.
- 8.** Руководство по ArcGIS (ArcGIS book) /Web-сайт СП «Дата+», представляющего на российском рынке семейство ГИС ESRI и др. фирм: ArcView, Arc/Info, Erdas Imagine, ... (<http://www.dataplus.ru/>). 2006
- 9.** ГИС-Обозрение. Журнал по современным геоинформационным технологиям. – М.: Гипрогор, 1995-2011 (<http://www.glasnet.ru/giprogor>).
- 10.** Лабенко Д.П. Дистанційний курс Геоінформаційні системи (2Тз) на навчальному сайті ХНАДУ (українською та російською мовами): <http://dl.khadi.kharkov.ua/course/view.php?id=576>