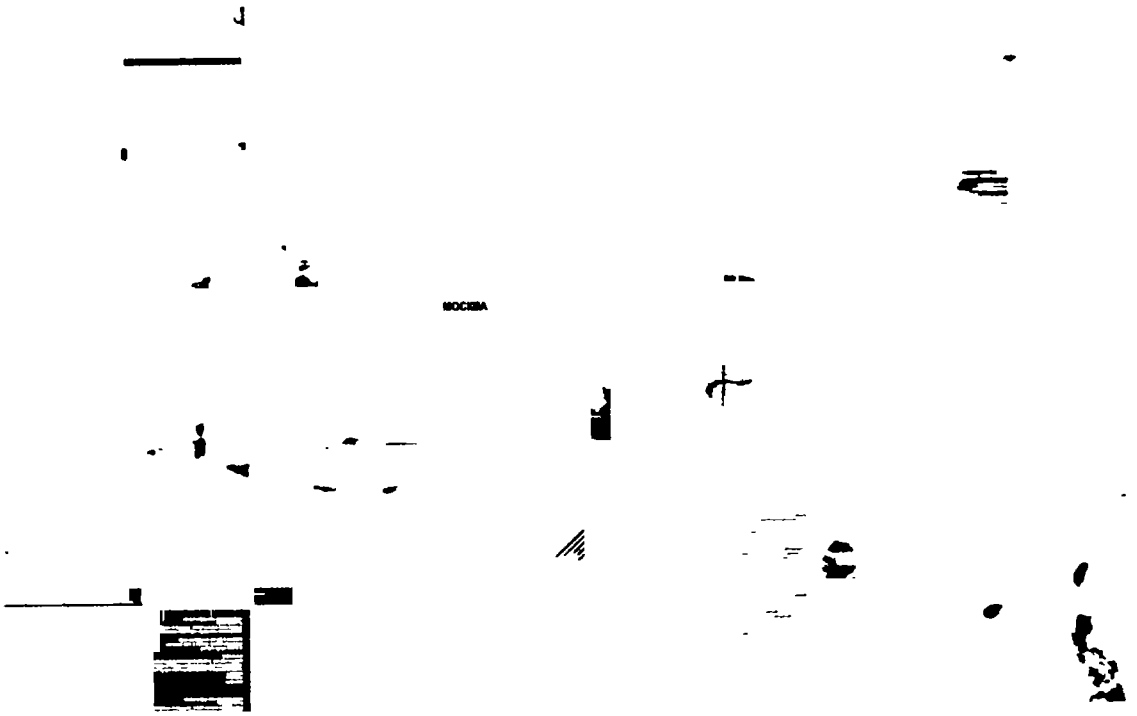


Журкин И. Г.
Шайтура С. В.



Геоинформационные системы

Рекомендовано УМО по образованию
в области геодезии и фотограмметрии
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений

Под общей редакцией Журкина И. Г.

ББК 26.1
УДК 519.8528

Журкин И. Г., Шайтура С. В.

Геоинформационные системы. – М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.

ISBN 978-5-91136-065-8

Учебное пособие направлено на систематизированное изложение вопросов проектирования, функционирования и применения геоинформационных систем

Особое внимание уделено структурированию и анализу геопространственных данных, методам принятия решения и построению трехмерных пространственных моделей. Рассмотрены вопросы стандартизации и защиты информации в ГИС.

Предназначено для студентов вузов, аспирантов, слушателей курсов повышения квалификации широкого профиля, интересующихся проблемами геоинформатики.

Авторы: Журкин И. Г. – гл. 1, 2,
Шайтура С. В. – гл. 5, 7,
Журкин И. Г., Шайтура С. В. – гл. 3, 4 и 6.

Игорь Георгиевич Журкин, Сергей Викторович Шайтура
Геоинформационные системы.
Учебное пособие

ООО «КУДИЦ-ПРЕСС»

190068, С.-Петербург, Вознесенский пр-т, д. 55, литер А, пом. 44

тел. (495) 333-82-11, ok@kudits.ru, <http://books.kudits.ru>

Подписано в печать 14.11.2009
Формат 70x100 1/16. Бум. офс. Печать офс.
Усл.печл. 17,0. Тираж 1300 экз.
Заказ № 2303

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных диапозитивов
в ППП «Типография «Наука»
121099, г. Москва, Шувшинский пер., 6

ISBN 978-5-91136-065-8

© Макет, обложка – ООО «КУДИЦ-ПРЕСС», 2009

Содержание

| | |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 6 |
| ГЛАВА 1. Геоинформатика. Основные понятия и определения | 12 |
| 1.1. Основные понятия геоинформатики | 12 |
| 1.2. Структура и классификация ГИС | 16 |
| 1.3. Типы данных в геоинформационных системах..... | 20 |
| Контрольные вопросы | 29 |
| ГЛАВА 2. Принципы функционирования ГИС | 30 |
| 2.1. Функциональные задачи, решаемые в ГИС | 30 |
| 2.2. Функциональная схема и оценка эффективности ГИС..... | 33 |
| 2.3. Системы сбора геопространственных данных..... | 45 |
| 2.4. Системы представления картографических данных в ГИС .. | 50 |
| 2.5. Форматы геопространственных данных .. | 51 |
| 2.6. Структура и база данных ГИС | 58 |
| Контрольные вопросы | 76 |
| ГЛАВА 3. Моделирование и принятие решений в ГИС | 77 |
| 3.1. Анализ данных в ГИС | 77 |
| 3.2. Модели данных в ГИС | 81 |
| 3.3. Нечеткие множества | 95 |
| 3.4. Методы оптимизации | 97 |
| 3.4.1. Линейное программирование .. | 98 |
| 3.4.2. Задача безусловной оптимизации .. | 99 |
| 3.4.3. Задача условной оптимизации .. | 100 |

| | |
|---|------------|
| 3.5. Теория игр | 101 |
| 3.6 Многоцелевые решения | 103 |
| 3.7. Геоинформационное моделирование при поддержке принятия решений . . | 106 |
| 3.7.1. Классификация типа загрязнения по разным факторам | 107 |
| 3.7.2. Оценка качества земель на их пригодность использования под различные сельскохозяйственные культуры. | 109 |
| 3.7.3. Задача о наилучшем использовании посевной площади. | 111 |
| 3.8. Генерализация в ГИС | 113 |
| Контрольные вопросы | 122 |
| ГЛАВА 4. Трехмерное моделирование | 123 |
| 4.1. Модели и структуры трехмерных пространственных данных | 123 |
| 4.1.1. Аналитические модели представления поверхностей | 124 |
| 4.1.2. Векторные полигональные модели | 125 |
| 4.1.3. Сеточные модели | 127 |
| 4.1.4. Алгоритмы триангуляции | 129 |
| 4.2. Построение поверхностей на основе триангуляционной сети | 132 |
| 4.3. Преобразование векторной полигональной модели поверхности рельефа в равномерную сеточную модель | 134 |
| 4.4. Алгоритмы формирования поверхности по узлам неравномерной сети . . . | 136 |
| 4.5. Построение изолиний | 142 |
| Контрольные вопросы | 149 |
| ГЛАВА 5. Методы отображения и визуализация геоданных | 150 |
| 5.1. Технические средства машинной графики | 150 |
| 5.1.1. Устройства ввода графических изображений | 150 |
| 5.1.2. Устройства вывода графических изображений | 152 |
| 5.2. Методы визуализации | 155 |
| 5.2.1. История развития программных средств машинной графики | 155 |
| 5.2.2. Модели цвета | 161 |
| 5.2.3. Графические форматы | 165 |
| 5.3. Особенности создания компьютерных карт и атласов | 174 |
| Контрольные вопросы | 176 |

| | |
|---|------------|
| ГЛАВА 6. Применение геоинформационных систем | 177 |
| 6.1. Обзор программных средств | 177 |
| 6.2. Инструментально-программные средства, используемые при крупномасштабном картографировании. | 185 |
| 6.3. Примеры реализации ГИС | 198 |
| 6.3.1. Использование ГИС в задачах земельного кадастра | 198 |
| 6.3.2. Применение ГИС для сохранения экологического равновесия и предупреждения чрезвычайных ситуаций | 204 |
| 6.3.3. Применение картографической информации в строительстве. | 212 |
| 6.3.4. Использование геоинформационного картографирования для создания тематических карт | 216 |
| 6.3.5. Телекоммуникационные системы в дистанционном геоинформационном образовании | 220 |
| 6.4. Интеграция ГИС с другими автоматизированными информационными системами. | 221 |
| Контрольные вопросы | 225 |
| | |
| ГЛАВА 7. Стандартизация и защита информации в ГИС | 226 |
| 7.1. Основные стандарты в области геоинформатики и сертификация ЦК. | 226 |
| 7.1.1. Основные стандарты в картографии | 226 |
| 7.1.2. Общие требования к ГОСТ по цифровым топографическим картам | 227 |
| 7.1.3. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации | 228 |
| 7.1.4. Правила цифрового описания картографической информации | 231 |
| 7.1.5. Требования к качеству цифровых топографических карт | 234 |
| 7.1.6. Сертификация цифровых карт | 235 |
| 7.2. Нормативная документация по защите информации в геоинформатике | 237 |
| 7.3. Защита геоинформации в глобальных сетях. | 247 |
| 7.4. Алгоритмы защиты цифровой пространственной информации | 270 |
| Контрольные вопросы | 272 |
| | |
| Литература | 272 |

ВВЕДЕНИЕ

Разработка ГИС началась в конце 1960-х гг. в основном в учебных и научных заведениях Англии, Канады и России. Значительный вклад в развитие автоматизации картографии в России внесли Васмут А. С., Журкин И. Г., Иванов А. Г., Лютый А. А., Шайтура С. В., Ширяев Е. Б. в создание цифровых и электронных карт – Александров В. Н., Васин Ю. Г., Жалковский Е. А., Жданов Н. Д., Журкин И. Г., Лисицкий Д. В., Мартыненко А. И., Халугин Е. И., в становлении ГИС – Берлянт А. М., Журкин И. Г., Карпик А. П., Конон А. В., Лурье И. К., Тикунов В. С., Цветков В. Я., Шайтура С. В., Филатов Б. Н. и др.

Преподавание геоинформатики и геоинформационных систем как дисциплин началось в начале 1990-х гг. в Московском государственном университете геодезии и картографии, МГУ им. М. В. Ломоносова и Сибирской государственной геодезической академии. В настоящее время разделы по информатике или входят в состав других дисциплин, или изучаются самостоятельно в целом ряде вузов России.

Развитие во времени методов структуризации геопространственных данных непосредственно связано с созданием первых ГИС в начале 1960-х гг. Первые ГИС этого периода являлись чисто географическими информационными системами. Основная модель организации данных в них сводилась к набору имен и характеристик в сочетании со множеством именованных данных, местонахождение которых задавалось географическими координатами. Это была простая модель без привлечения семантических данных, помогающих пользователю в работе с БД.

Ранние реализации ГИС (конца 1960-х и начала 1970-х гг.) ориентировались на растровые (точнее, ячеистые) структуры представления данных. В первых ГИС использовались ячейки, различные по размеру, форме (прямоугольник, треугольник, круг) и типу представления на поверхности (строящиеся на плоскости или на поверхности шара, эллипсоида), что свидетельствует о поиске оптимальных решений теоретических и технических проблем представления данных. Ячеистое представление было обусловлено аппаратно-техническими причинами, а также неразвитостью операционных (алгоритмических) процедур манипулирования векторными структурами. Все это отражалось в примитивности средств графической и картографической документации и функциональной ограниченности ГИС «первого поколения».

Бюро переписи США – одна из организаций, сыгравших ключевую роль в развитии геоинформационных систем; в конце 1960-х гг. оно разработало формат GBF-DIME (Geographic Base File, Dual Independent Map Encoding). В этом формате впервые была реализована схема определения пространственных отношений

между объектами, называемая топологией, которая описывает, как линейные объекты на карте соединены между собой, какие площадные объекты граничат друг с другом, а какие объекты состоят из смежных элементов. Впервые были пронумерованы узловые точки, присвоены идентификаторы площадям по разные стороны линий. Это стало революционным нововведением. Формат GBF-DIME позже трансформировался в TIGER.

История GBF-DIME началась в феврале 1967 г., когда Бюро переписи США занялось экспериментами по компьютерному картографированию. Программисты бюро боролись с неэффективностью и избыточностью при конвертировании напечатанных на бумаге карт в карты цифровые. Проблема была в том, что в те времена каждое пересечение улиц (в городах США часто встречается решетчатая система, когда улицы образуют сетку из стритов и авеню) вводилось ровно восемь раз. Проблема была преодолена благодаря принципам картографической топологии, предложенной математиком бюро Джеймсом Корбеттом (James Corbett).

Таким образом была открыта схема кодирования, известная позже как DIME (Dual Independent Map Encoding). Основная идея заключалась в том, чтобы перенумеровать узлы (в данном случае – пересечения улиц) и площади (кварталы). Летом 1967 г. нововведения показали свою эффективность на практике – они резко повысили эффективность оцифровки и обнаружения ошибок и стали основой для картографирования результатов переписи. В течение 1970-х гг. карты в формате GBF-DIME были созданы для всех городов США. Эту технологию и по сей день использует множество современных геоинформационных систем.

Лаборатория компьютерной графики Гарварда, переименованная в 1968 г. в Лабораторию компьютерной графики и пространственного анализа, стала колыбелью многих идей, составивших фундамент современных ГИС. В этой лаборатории была создана известная картографическая система SYMAP, которая увидела свет в 1966 г.

Земельная информационная система вышеупомянутого штата была заложена в середине 60-х гг. XX в. как совместный проект Центра городских и региональных проблем штата Миннесота, Университета штата Миннесота и Агентства планирования этого же штата.

В то время во многих штатах начиналась разработка земельных ГИС, что связано с необходимостью собирать налоги. Геоинформационная система штата Миннесота была растровой, с крупным зерном растра (чуть больше 0,16 кв. км на местности), и тем не менее оказалась очень эффективной.

Одна из наиболее известных компаний в области производства ГИС – компания ESRI была основана в 1969 г. Джеком и Лаурой Данжермонд (Jack и Laura Dangermond) в качестве консультативной группы. В 1970-х гг. ESRI фокусировалась на развитии фундаментальных идей ГИС и их применении в реальных коммерческих проектах.

Во второе десятилетие своего существования ESRI решила начать выпуск собственных продуктов и инструментов в связи с тем, что появился спрос на коммерческие

ГИС, которые могут использовать другие фирмы для реализации своих проектов. Первый коммерческий продукт ESRI – ARC/INFO – вышел в 1981 г. В том же году была проведена первая пользовательская конференция ESRI, на которую собралось 18 человек. По мере появления новых операционных систем и нового аппаратного обеспечения ARC/INFO оперативно переходила на новые платформы.

Другой наиболее известной компанией в области производства ГИС является компания Intergraph, основанная в том же 1969 г., которая в начале своей деятельности занималась консалтингом и консультировала государственные учреждения в использовании цифровых компьютерных технологий. Основатели компании ранее работали в IBM в Хантсвилле и создавали системы наведения ракеты «Сатурн». Для удовлетворения запросов своих первых клиентов компания предложила технологии, которые позже были использованы в графических системах, – этот подход нашел отражение в названии компании, сложенном из слов Interactive и Graphics.

Первая коммерческая система для картографирования Interactive Graphics Design System и компании M&S Computing была продана администрации округа Нэшвилл в 1974 г.

Истоки истории первых ГИС описаны в работах коллективов, сформулировавших задачи и подходы к построению информационных систем, ориентированных на обработку пространственных данных в Канаде и Швеции. ГИС первого поколения (1960–70-е гг.) ориентировались на чисто утилитарные задачи: инвентаризацию земельных ресурсов, земельный кадастр, учет и совершенствование системы налогообложения. Основная функция этих ГИС состояла в вводе первичных документов для хранения и обновления данных. Обработка данных отличалась примитивностью в сравнении с современным уровнем.

В Канаде в 1963–1971 гг. под руководством Р. Томлинсона был разработан классический пример крупной универсальной региональной ГИС – Канадской ГИС (CGIS). На основе этих работ был принят стандарт по формированию национальной топографической базы данных. Он включал в себя терминологический словарь, описание данных, правила формирования модели, требования по точности, описание системы координат и проекций и т. д.

В настоящее время автоматизированные картографические и геоинформационные технологии в Канаде применяются в городском планировании, коммунальном хозяйстве, управлении лесными, сельскохозяйственными, рыбными ресурсами, топографическом картографировании, создании морских навигационных и гидрографических карт, интерпретации материалов дистанционного зондирования, дорожном строительстве и инженерном проектировании.

С появлением управляемых баллистических и крылатых ракет встал вопрос о создании цифровых карт. В результате этой деятельности были созданы цифровые карты России в масштабах 1 : 1 000 000 и 1 : 25 000, которые позднее были переданы в Роскартографию. Цифрованием карт более крупных масштабов занимались в различных научных и производственных институтах России.

В это же время встал вопрос о разработке классификации и стандартизации представления данных о картографической информации. Результатом этой рабо-

ты стал стандарт стран Варшавского договора – Единая система кодов и классификаций картографической информации (ЕСКККИ).

Аналогичные работы проводились в США. Для обмена цифровыми географическими данными страны НАТО приняли стандарт DIGEST. Этот стандарт включает описание структуры векторных данных типа «спагетти», цепочно-узловых векторных данных, матричных данных.

Картографическое агентство Министерства обороны США при поддержке Института экономических исследований ESRI и ряда фирм и компаний США разработало новый картографический продукт – цифровую карту мира DCW (Digital Chart of the World) в масштабе 1 : 1 000 000. Партнерами по разработке этого проекта являлись также Канада, Великобритания, Австралия.

DCW является векторной цифровой базовой картой мира. Она представляет собой самую большую пространственную базу данных, специально разработанную для применения на сравнительно недорогостоящих компьютерах класса PC. База данных содержит 1,5–2,0 Гб данных, хранящихся в постоянных запоминающих устройствах (CD-ROM) емкостью 8–10 Мб.

Исходными материалами для создания DCW являются 270 навигационных карт Картографического управления США в масштабе 1 : 1 000 000 и 6 аэронавигационных карт Антарктиды в масштабе 1 : 2 000 000.

В вышеперечисленных работах было сформировано понятие пространственного объекта с позиционными и непозиционными атрибутами, и две альтернативные линии представления данных – растровые (ячейстые) и векторные структуры, включая топологические линейно-узловые представления. Поставлены и решены задачи, образующие ядро ГИС, – наложение (оверлей) слоев, генерация буферных зон, полигонов Тиссена и иные операции манипулирования пространственными данными, включая определение принадлежности точки к полигону, операции вычислительной геометрии.

Большое внимание цифровому картографированию на основе ГИС-технологий уделялось и в целом ряде других зарубежных стран: Японии, Швеции, Германии и т. д.

Интегрированное выражение компьютерных технологий в виде ГИС в США появилось в начале 1980-х гг., причем первоначально понятие ГИС не обособлялось, и под этим термином объединялись все информационные системы, связанные с автоматизированной обработкой пространственных данных (дистанционного зондирования, геодезии, картографии, фотограмметрии) со свойственными им общими признаками, такими как: определение места признака в географическом пространстве, установление связи признака с другими признаками на карте и т. д.

Создание ГИС стало основываться на серийных и коммерческих программно-аппаратных средствах, ориентированных на расширение круга решаемых задач. Качественно новое представление и бурное развитие ГИС произошло в начале 1990-х гг. с принятием идеологии и технологии САПР, что выразилось в совершенствовании методов сбора данных, ранее сдерживавших развитие ГИС, принятии повышенных требований к их точности, а также использовании принципов обработки данных на основе теории графов.

В конце 1980-х гг. ГИС завоевывают новые сферы науки, появляются новые источники данных – дистанционного зондирования (ДЗ), GPS, отмечается комплексирование с методами цифровой картографии. Дальнейшим развитием международного сотрудничества в области геопространственных данных является проводящаяся в рамках ISO разработка единого каталога, включающего все объекты и явления окружающей среды (Environmental data coding specification). Введение международной системы классификации и кодирования геопространственных данных позволит конвертировать данные ранее созданных систем, что обеспечит стыковку различных ГИС, построенных на национальных системах кодирования.

Для БД 1990-х гг. отмечены многоплатформенность и разнообразие клиентских приложений, возрастание роли БД современной архитектуры – клиент/сервер и распределенных БД, основывающихся на комплексном использовании СУБД, неоднородных сетей и связующего программного обеспечения.

Со второй половины 1990-х гг. возросла тенденция к построению трехмерных (3D) моделей, что продиктовано, с одной стороны, требованиями практических задач, с другой – увеличением мощности вычислительных ресурсов, способных успешно проводить такое моделирование. Трехмерные модели обеспечивают отображение реальности, близкой к той, которую видит глаз на местности.

В современных ГИС наравне используются два варианта представления трехмерных моделей:

- *псевдотрехмерное*, когда третья координата (z) фиксируется в виде атрибута (модель 2,5);
- *истинно трехмерное* представление, когда третья координата (z) является уже не атрибутом, а элементом местонахождения точки.

Тематика ГИС постоянно развивается и на современном уровне охватывает все отрасли научной и хозяйственной деятельности, однако преобладают данные таких отраслей наук, как геология, геохимия, геофизика, а также сведения о рельефе, климате, океанографии и оценке природной среды в целом. В социально-экономическом разделе преобладают сведения о населении и социальной инфраструктуре. Отмечается возрастание роли ГИС в планировании.

Дальнейший прогресс ГИС направлен к адаптации обработки пространственной информации независимо от ее языкового представления (синтаксиса, семантики языка пространственной информации), и составит будущее ядро в теории интеллектуальных процедур ГИС-технологий.

Вариантом реализации тенденций к универсальности стали развиваемые с 1998 г. инициативы по созданию «открытых» ГИС (Open GIS, OGIS) в форме формальной спецификации моделей и форматов. Реализация таких ГИС возможна на основе программного обеспечения с полномодульной конфигурацией, включающей помимо стандартных операций модули для обработки полевых данных, уравнивания сетей, составления кадастровых планов, формирования цифровой модели рельефа и пр.

Разработка ГИС на основе концепции создания и эксплуатации с учетом структуры и функций выразилась в создании объектно-ориентированных

3-мерных ГИС и ГИС, работающих на принципах искусственного интеллекта (экспертные системы).

ГИС нового поколения становятся ориентированными на пользовательские модели данных в предметной области. Упрощение управления пространственными данными для пользователей в таких ГИС будет обеспечено внедрением новых мультимедийных технологий с целью упростить (облегчить) территориальный анализ. Основные тенденции развития ГИС в III тысячелетии связываются с введением большого числа новых графико-аналитических моделей Земли, включающих, наряду с картами, различные фотографические и мультимедийные изображения, компьютерные анимации и построенные на всей этой основе различные виртуальные модели территориальных образований. При этом на первое место при проектировании ГИС выдвигаются проблемы искусственного интеллекта, анализа 3-мерных сцен, прогнозирования ситуаций, развития единой инфраструктуры представления данных.

ГЛАВА 1

Геоинформатика. Основные понятия и определения

1.1. Основные понятия геоинформатики

Все шире для изучения объектов, процессов и явлений материального мира используются подходы, основанные на понятии информации. Информация наряду с такими понятиями, как материя и энергия в физике или как множество в математике, является первичным понятием и поэтому не имеет четкого формализованного определения. Однако, исходя из практики и интуитивных представлений, информацию можно интерпретировать как совокупность содержательных сведений, заключенных в том или ином изучаемом или исследуемом объекте, событии или явлении и проявляемых при наличии сообщения в виде отражения на другом объекте или событии.

Из принятого определения вытекают следующие свойства информации:

- информация характеризует объекты, события и явления любой природы естественного и абстрактного происхождения с точки зрения присутствия в них определенных свойств и качеств;
- информация не является объектом материального мира, однако проявляется (определяется) в виде материализованных данных, а именно в виде символов или сигналов;
- одни и те же свойства и сведения, характеризующие объекты или события, могут являться различными источниками информации в зависимости от потребителя или системы отражения информации.

Следует отметить, что из приведенного выше первого свойства, в частности, следует, что информация может содержаться как в объектах естественного (физического) происхождения, так и абстрактного. Однако в автоматизированных системах обработки геоинформации, как правило, источниками информации являются материальные объекты и физические явления (процессы), поэтому именно такие источники информации будут в основном предметом дальнейшего изучения. Остановимся на изложении ряда устоявшихся в теории информации понятий и определений.

Под источником информации будем понимать любые объекты, явления и процессы, которые подлежат изучению (исследованию), для чего о них собираются необходимые сведения. Таким образом, источником информации может быть

любой объект, процесс или явление материального мира, подлежащие изучению. При этом следует иметь в виду, что под объектом в принятом выше определении может выступать не только какой-то отдельный конкретный физический предмет, но и система, состоящая из различных предметов или предметов и явлений, связанных определенным образом между собой. Например, если существует ряд пунктов, связанных между собой транспортной сетью, то для решения задачи выбора оптимального пути от одного пункта до другого необходимы сведения (информация) о взаимном расположении пунктов, т. е. одним из источников информации в данном примере является система пунктов.

Как отмечалось выше, информация об объекте представляется в виде отражения сведений о нем на другом объекте, который называют приемником (получателем) информации. Однако прежде чем информация достигнет получателя, она должна быть представлена в форме сигналов или символов, которые в данном случае будем называть сообщением. Получение сообщения об исследуемом объекте или явлении непосредственно связано с таким процессом, как генерация (производство) символов и сигналов, содержащих требуемую информацию. В дальнейшем производителя (генератора) сигналов или символов, содержащих информацию об исследуемом объекте, будем называть источником сообщений (ИС). Источники сообщения можно подразделить на прямые и косвенные. Прямые источники сообщений генерируют сигналы и символы непосредственно с исследуемого объекта, т. е. прямым источником сообщения является сам источник информации. Например, если в результате дистанционного зондирования (ДЗ) интересующей информацией является информация о наличии нефтяных пятен на водной поверхности, то именно они и являются источником информации и источником мощностей потоков лучистой энергии, отображенных от водной поверхности. В том случае, когда необходимые сведения об объекте (явлении) получаются не в результате их непосредственного съема с данного объекта, а по сообщениям, генерируемым другими объектами или явлениями, то в этом случае эти другие объекты и являются источниками сообщений об исследуемом объекте, которые будем называть косвенными ИС.

Сообщения и ИС можно классифицировать на дискретные, непрерывные и смешанного типа. Дискретное сообщение представляет конечную и ограниченную последовательность отдельных символов или импульсов конечной длительности. Примером дискретного сообщения может служить телеграмма, данные телеметрии.

Непрерывное сообщение представляет сигнал, описываемый в виде непрерывной функции. Так, распределение оптической плотности изображения на фотопленке является непрерывным сообщением. Естественно, что понятие непрерывности для сообщения является относительным, как в общем и для любого реального физического процесса, и зависит как от разрешающей способности регистрирующей (измерительной) сигнал системы, так и от параметров самого сигнала.

Как отмечалось выше, каждое сообщение генерируется источником сообщения. Однако необходимо иметь в виду, что, во-первых, не каждый генерируемый сигнал ИС может сформироваться в сообщение, а во-вторых, не каждое сообщение может поступить или быть воспринято адресатом сообщения.

Одним из важных и широко используемых понятий является геоинформация. Под геоинформацией понимается пространственно распределенная информация об объектах или явлениях материального и нематериального вида. Примерами геоинформации может быть плотность населения по территориальным образованиям, толщина залегания полезных ископаемых в точках бурения, измерение метеоусловий на станциях слежения и т. д., распределение голосов избирателей в регионе и т. д.

Введем ряд других важных понятий, которыми будем пользоваться в дальнейшем изложении.

Геоданные (пространственные, геопространственные данные) – данные об объектах и явлениях окружающей среды, требующие представления в координатно-временной форме.

Объект – совокупность предметов, понятий, свойств или других элементов некоторого множества. Пространственные данные об объектах различаются по характеру локализации. Различают объекты с дискретным, линейным и площадным характером локализации.

Геопространственными данными могут быть охарактеризованы все реальные объекты и явления местности, для которых важны положение, форма, размеры, взаиморасположение относительно других объектов и явлений и, следовательно, заданы системы отсчета и позиционирования в пространстве.

Важнейшей составляющей геоданных является система отсчета (координатно-временная привязка). Сама система отсчета геоданных является динамической системой, так как она, будучи связанной с Землей или звездами, движется вместе с ними во Вселенной. Может быть несколько систем отсчета, поэтому одной из задач является переход из одной системы отсчета в другую.

Геоинформатика (GIS technology, geo-informatics) – область науки, техники и технологии, изучающая структуру, общие свойства и закономерности геоданных, а также методы и процессы проектирования, создания, эксплуатации и использования пространственных информационных систем.

Значение научных и технических проблем геоинформатики для народного хозяйства состоит в обеспечении информацией, контроле и поддержке принятия управленческих решений в сферах планирования и проектирования, исследований в науках о Земле и смежных с ними социально-экономических науках, в развитии образования и культуры, сохранении экологического равновесия, предупреждении чрезвычайных ситуаций, обеспечении обороноспособности страны.

Область исследования геоинформатики:

1. Теоретические и экспериментальные исследования в области развития научных и методических основ геоинформатики.
2. Технические средства и технологии сбора, регистрации, хранения, передачи и обработки геоинформации с использованием вычислительной техники.

3. Геоинформационные системы (ГИС) разного назначения, типа (справочные, аналитические, экспертные и др.), пространственного охвата и тематического содержания.
4. Базы и банки пространственной информации по разным предметным областям, а также системы управления базами данных.
5. Базы знаний по разным предметным областям.
6. Математические методы, математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение для ГИС.
7. Геомоделирование, системный анализ многоуровневой и разнородной геоинформации.
8. Геоинформационное картографирование и другие виды компьютерных геоизображений новых видов и типов, включая трехмерные видеоданные, анимационные, мультимедийные, виртуальные и другие электронные продукты.
9. Геоинформационные инфраструктуры, методы и технологии хранения и использования геоинформации на основе распределенных баз данных и знаний.
10. Телекоммуникационные системы сбора, анализа, обработки и распространения пространственно-временной геоинформации.
11. Взаимодействие геоинформатики, геодезии, картографии, дистанционного зондирования и др. наук о земле.

В дисциплину «геоинформатика» входят изложение теории по проблемам геоинформатики, включающее описание концептуальных, математических и информационных моделей физических полей Земли и местности, их алгоритмическое и цифровое представление, принципов получения информации о физических полях Земли, ее строении и объектах, непосредственно расположенных как на земной поверхности, так и под ней, в виде формализованных пространственно-распределенных (геопространственных) данных, а также методов и средств создания интегрированных информационных систем и технологий для сбора, коммуникации, обработки и интерпретации геопространственных данных, изображений и многомерных сигналов.

При подготовке специалистов в области геоинформатики необходимо использовать принципы многопредметности, межпредметности, интеграции, дифференциации. Это вызвано необходимостью освоения знаний, связанных со сбором информации, математическими методами ее обработки и принципами создания баз данных и информационных систем и предшествующих изучению основ геоинформатики, таких как геодезия, картография, фотограмметрия, дешифрирование данных дистанционного зондирования, географии и др. наук о земле.

Таким образом, в курс геоинформатики предполагается включение методов и научных основ, излагаемых в других дисциплинах. Поэтому для получения знаний по геоинформатике необходимо также изучение теоретических основ информатики, геодезии, картографии, дистанционного зондирования, систем компьютерной графики, баз данных и др.

1.2. Структура и классификация ГИС

Базовый составляющий геоинформатики являются геоинформационные системы. *Геоинформационная система (ГИС)* – специализированная информационная система, предназначенная для работы на интегрированной основе с геопространственными и различными по содержанию семантическими данными.

Поскольку ГИС является сложной интегрированной системой, она подчиняется всем принципам системного анализа. Системный анализ – это совокупность методов и средств исследования сложных, многоуровневых и многокомпонентных систем, объектов, процессов, опирающихся на комплексный подход, учет взаимосвязей и взаимодействий между элементами системы. В системном анализе под системой понимается множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определенную целостность, единство. Элементами системы являются ее части, представление о которых нецелесообразно подвергать дальнейшему членению. Сложная система – это система, характеризующаяся большим числом элементов и большим числом взаимосвязей.

Интеграцией называют восстановление и повышение качественного уровня взаимосвязей между элементами системы, а также процесс создания из нескольких разнородных систем единой системы с целью исключения функциональной и структурной избыточности и повышения общей эффективности функционирования.

Назначением ГИС является ввод, хранение, обработка и вывод геопространственной информации по запросам пользователей.

Таким образом, ГИС интегрируется, с одной стороны, с системами сбора информации (дистанционное зондирование, геодезическая съемка, мониторинг окружающей среды), с другой – с системами хранения информации (информационно-поисковые системы, базы данных, базы знаний, экспертные системы), с третьей стороны, с системами обработки информации (обработка изображений, моделирование, генерализация), с четвертой стороны, с системами отображения информации (компьютерная графика, электронные карты, создание трехмерных видеомоделей и сцен).

Поскольку геопространственные данные менее подвержены изменениям, чем семантические данные, они часто являются основой для интеграции данных в других автоматизированных системах (автоматизированного управления, проектирования и научных исследований).

При интеграции ГИС с другими системами создаются новые технологии. Технология включает в себя методы, приемы, режим работы, последовательность операций и процедур, она тесно связана с применяемыми средствами, оборудованием, инструментами, используемыми материалами. Геоинформационная технология – это совокупность приемов, способов и методов применения аппаратно-программных средств обработки и передачи информации на основе реализации функциональных возможностей ГИС.

Рассмотрим теперь различные методы классификации ГИС (рис. 1). По проблемной ориентации можно выделить следующие виды ГИС.

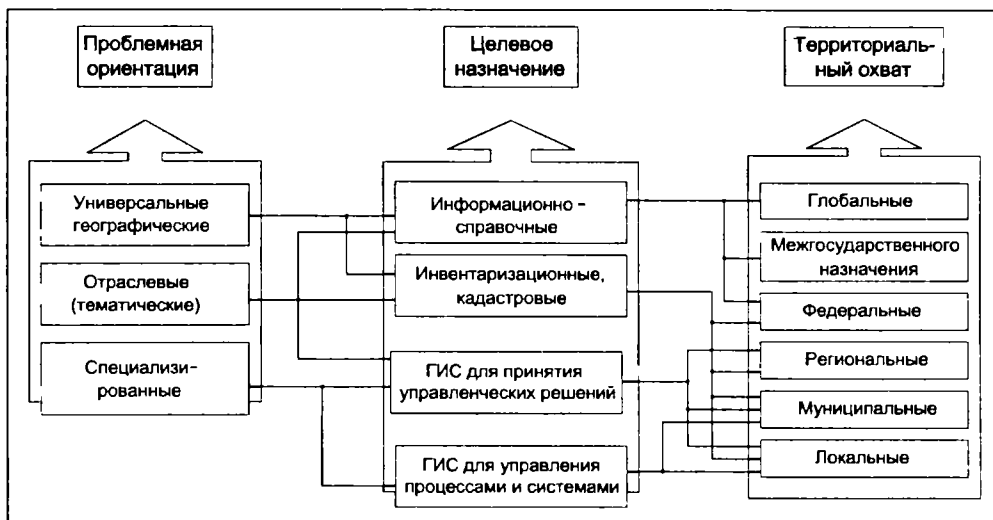


Рис. 1. Классификации ГИС по различным позициям

Универсальные географические (комплексные или многоцелевые) для решения общих проблем. Обычно это интегрированные ГИС, которые совмещают системы цифровой обработки изображений (данных дистанционного зондирования) с функциональными возможностями ГИС по моделированию и многофакторному анализу данных в единой интегрированной среде. Такие ГИС используются в сферах управления федерального и регионального управления и планирования.

Отраслевые (тематические) – по проблеме одной отрасли. Основные проблемы, решаемые современными ГИС, сводятся к проблемам оптимального взаиморасположения и определения местонахождения, размещения и распределения объектов и ресурсов, к классификации и районированию территории, выбору оптимального маршрута. Круг проблем, решаемых ГИС, может меняться в зависимости от требований времени и функциональных возможностей, определяющихся уровнем разработки структуры базы данных и ее программно-аппаратной реализацией. Проблемная ориентация ГИС определяется решаемыми в ней задачами (научными и прикладными), среди них инвентаризация ресурсов (в том числе кадастр), анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений.

Специализированные. Предметом рассмотрения таких ГИС могут быть: недра, природопользование, экология, транспорт, связь, социально-экономические показатели, политология, городское хозяйство.

По целевому назначению ГИС могут быть:

Информационно-справочные. Такие ГИС либо используются в сети Интернет, либо тиражируются на компакт-дисках. Они широко используются для справочных, туристических и образовательных целей.

Инвентаризационные, кадастровые. Такие ГИС создаются для учета и ведения земельного, лесного, водного, экологического, градостроительного и других видов кадастра, а также систем муниципального управления.

ГИС для принятия управленческих решений. Обычно такие ГИС создаются либо на федеральном уровне, либо на уровне различного рода министерств и ведомств и служат для получения оперативных данных в процессе принятия решений.

ГИС для управления процессами и системами. Такие ГИС помогают оперативно управлять энергоресурсами, планировать работу транспорта, связи и т. д.

Как правило математическую основу ГИС составляют топографические (топокарты). По территориальному охвату ГИС разбивают на несколько уровней.

1. **Глобальные.** Масштаб базовых карт, по которым создается ГИС, 1 : 4 000 000 и мельче, система координат – географическая. Цифровые карты хранятся на оптических или компакт-дисках. Примером глобальных ГИС является цифровая карта мира.
2. **Межгосударственные (субконтинентальные).** В этих ГИС по территориальному признаку объединяются несколько государств. Масштаб базовых карт для них – от 4000 000 до 1 : 200 000. В основном они имеют информационно-справочное назначение.
3. **Федеральные (общенациональные, государственные).** Исходным картографическим материалом для этих ГИС могут служить карты масштаба 1 : 4 000 000 до 1 : 1 000 000.
4. **Региональные и субрегиональные.** К этому уровню относят ГИС на основе топографических и картографических данных масштабов 1 : 100 000 и 1 : 200 000. Система координат – геодезическая (в США, Канаде и Западной Европе – УТМ, в РФ – Гаусса-Крюгера).
5. **Муниципальные.** Создаются для управления городским хозяйством. Например, для создания муниципальных кадастровых карт. Масштабы картографических и топографических данных составляют 1 : 10 000 и 1 : 25 000.
6. **Локальные (районные).** ГИС этого уровня создаются по геопространственным данным масштабов 1 : 10 000 и крупнее и служат для управления городским хозяйством, создания кадастровых карт и других целей местного значения.

Целями разработки ГИС являются: анализ, моделирование, управление, прогноз, планирование, инвентаризация земель, мониторинг, геомаркетинг, картографирование, обслуживание пользователей.

Сфера применения ГИС весьма широка. Это и управление территориальными образованиями, и исследование природных ресурсов, и экология, и рациональное землепользование, транспорт и строительство.

Реализация геоинформационных проектов (GIS project), создание ГИС в широком смысле слова, включает этапы: предпроектных исследований (feasibility study), в том числе изучение требований пользователя (user requirements) и функциональных возможностей используемых программных средств ГИС, технико-экономическое обоснование, оценку соотношения «затраты/прибыль» (costs/benefits); системное проектирование ГИС (GIS designing), включая стадию пилот-проекта

(pilot-project), разработку ГИС (GIS development); ее тестирование на небольшом территориальном фрагменте, или тестовом участке (test area), прототипирование, или создание опытного образца, или прототипа (prototype); внедрение ГИС (GIS implementation); эксплуатацию и использование.

Особенности различных источников данных создаваемых ГИС позволяют ввести еще один принцип классификации – тип исходных данных, что дает возможность выделять системы, ориентированные на использование определенных материалов (карт, аэро- и космических снимков, таблиц, текстов, диаграмм, мультимедиа), либо их комплексов в интегрированной ГИС.

Проблемы, стоящие перед проектированием ГИС, реализуются посредством решения комплексов отдельных задач. Задача, определяемая как простейший цикл обработки типизированных данных, может быть отнесена к одной из групп:

- 1) учетно-инвентаризационных задач,
- 2) задач управления и принятия решений,
- 3) задач для моделирования и сложного анализа данных.

Комплексность решения задач в ГИС есть следствие ее *эффективности*, вытекающей из ее интегрированности, картографической визуализации и наглядности информации. Несмотря на обилие задач, ГИС оперирует немногими категориями – природными и антропогенными объектами, а также изменяющимися в пространстве явлениями. Структура БД в первую очередь должна быть разработана с учетом возможности обеспечения манипулирования этими категориями при работе с ГИС.

В большинстве практически функционирующих ГИС все многообразие задач ГИС сводится к выполнению в основном запросов из БД двух типов: 1) запрос информации «через карту» посредством «картографического интерфейса», с одной стороны, и 2) создание/выдача картографического отчета (т.е. в виде карты) по запросу из БД. При этом оба типа запросов могут иметь дополнительные ограничения, основанные на пространственных и непространственных характеристиках с использованием понятий расстояния, включения, пространственных взаимоотношений объектов (например, соседства или пересечения).

Выполнение каждой задачи можно рассматривать как с позиции функциональности отдельных подсистем ГИС, так и в аспекте их программно-аппаратного обеспечения.

Функции ГИС закладываются в процессе создания ГИС. Акцент на функции определяет конфигурацию ГИС. Различные аспекты применения ГИС могут быть сведены к следующим группам функций ГИС:

- сбор, кодирование и ввод информации – обеспечение формирования цифрового представления пространственных объектов и явлений;
- редактирование, обновление, эффективное хранение данных, реорганизация в разные формы, контроль правильности и качества данных, поддержание системы на актуальном уровне;
- получение информации – в первичном и обобщенном виде (в том числе генерализированном, суммарном, усредненном) и в виде результатов анализа, моделирования и интегрирования разнородной информации;

- сложные запросы, в том числе осуществляемые в ходе сложного анализа;
- вывод результатов в виде документов – таблиц, карт, диаграмм.

При всем многообразии операций, целей, областей моделирования, проблемной ориентации тех или иных атрибутов, логически организованных в них, в любой ГИС выделяются блоки (подсистемы), выполняющие определенные группы функций.

Если рассматривать ГИС как системотехническое устройство, то она включает в себя: аппаратные средства, программное обеспечение, данные и ресурсы, технологии и информационный менеджмент.

Аппаратные средства. Это компьютер или сеть компьютеров, входящих в ГИС, а также состав специализированных информационно-технических средств, обеспечивающих функционирование ГИС.

Программное обеспечение ГИС содержит системные и прикладные функции и инструменты, необходимые для хранения, анализа и визуализации геопространственной информации. Ключевыми компонентами программных продуктов являются: инструменты для ввода и оперирования геоданными; система управления базой данных (DBMS или СУБД); инструменты поддержки пространственных запросов, анализа и визуализации (отображения); графический пользовательский интерфейс (GUI или ГИП) для легкого доступа к инструментам.

Данные, один из наиболее важных компонентов ГИС. Данные о пространственном положении (геопространственные данные) и связанные с ними табличные данные могут собираться и подготавливаться самим пользователем либо приобретаться у поставщиков на коммерческой или другой основе. В процессе управления ГИС интегрирует пространственные данные с другими типами и источниками данных, а также может использовать СУБД, применяемые многими организациями для упорядочивания и поддержки имеющихся в их распоряжении данных.

Геоинформационный менеджмент. Широкое применение ГИС-технологии невозможно без людей, которые работают с программными продуктами и разрабатывают планы их использования при решении реальных задач. Пользователями ГИС могут быть как технические специалисты, разрабатывающие и поддерживающие систему, так и обычные сотрудники (конечные пользователи), которым ГИС помогает решать текущие каждодневные дела и проблемы. Успешность и эффективность (в том числе экономическая) применения ГИС во многом зависит от правильно составленного плана и правил работы, которые составляются в соответствии со спецификой задач и работы каждой организации.

1.3. Типы данных в геоинформационных системах

Сведения, полученные путем измерения, наблюдения, логических или арифметических операций и представленные в форме, пригодной для постоянного хранения, передачи и (автоматизированной) обработки, представляют собой *данные*.

Тип данных – характеристика набора данных, которая определяет:

- диапазон возможных значений данных из набора;
- допустимые операции, которые можно выполнять над этими значениями;
- способ хранения этих значений в памяти.

Различают простые типы данных: целые, действительные числа и др. и составные типы данных: массивы, файлы и др.

Метаданные – данные о данных: каталоги, справочники, реестры, базы метаданных, содержащие сведения о составе данных, содержании, статусе, происхождении, местонахождении, качестве, форматах и формах представления, условиях доступа, приобретения и использования, авторских, имущественных и смежных с ними правах на данные и др.

Модель данных (data model) – совокупность принципов организации данных. Известно множество различных моделей данных. Модели данных отличаются друг от друга прежде всего способами организации связи между данными. Модель данных должна использоваться для описания информации модели реального мира. Свойства этого мира делятся на статистические (инвариантные во времени) и динамические (изменяющиеся, эволюционирующие). Сложные модели данных могут включать в себя несколько разнородных структур.

Структура данных – организационная схема записи или массива, в соответствии с которой упорядочены данные для того, чтобы их можно было интерпретировать и выполнять над ними определенные операции.

Различают следующие структуры данных: файловые, реляционные или табличные, иерархические, сетевые, объектно-ориентированные и объектно-реляционные.

Файловые данные – наиболее простая структура данных. Файл – совокупность связанных записей (кластеров), хранящихся во внешней памяти компьютера и рассматриваемых как единое целое. Обычно файл однозначно идентифицируется указанием имени файла, его расширения и пути доступа к файлу. Каждый файл состоит из атрибутов и содержимого. Различают текстовые, графические и звуковые файлы.

Реляционные или табличные данные, основанные на теории отношений, опираются на систему понятий, важнейшие из которых: таблица, отношение, строка, столбец. Все объекты представлены в виде отношений или таблиц. Таблица имеет имя, строки и столбцы. Каждый столбец – атрибут. Каждая строка – запись или кортеж.

Иерархические данные – логическая структура данных в виде древовидной структуры. Граф иерархической структуры включает два типа элементов: дуги и узлы. Дугами соединяются только те узлы, между которыми есть функциональная связь. Одно из важнейших понятий иерархической структуры – уровень. Уровень представляет собой совокупность равных между собой по функциональному значению узлов. Для описания разных уровней применяют понятия: корень, ствол, ветви, листья, что подчеркивает их сходство с древовидной структурой. Дуги должны быть направлены от корня в листья дерева. Между двумя узлами может быть не более одной дуги.

Сетевые данные – логическая структура данных в виде произвольного графа. В отличие от иерархических данных, в сетевых каждый объект может иметь несколько подчиненных и несколько старших объектов.

Объектно-ориентированные данные основаны на принципах пользовательских типов данных, а также наследовании и полиморфизме.

Объектно-реляционные данные отражают модульный подход к созданию абстрактных типов данных.

В соответствии с концепцией и структурой ГИС, представленных в предыдущих параграфах, можно выделить следующие **типы данных**, наиболее часто используемые в ГИС.

Атрибутивные данные. Как уже было сказано выше, пространственные данные всегда имеют четкую связь между атрибутивной и геометрической составляющими. Атрибутивная информация – это информация, описывающая различные характеристики и параметры объектов.

Топографические данные. Как правило, являются основой информационного наполнения ГИС. Важные характеристики данных – масштаб, наличие атрибутивной информации. Топографические данные могут использоваться как комплексные топографические планшеты, т. е. матрицы информации, где одновременно находится вся топографическая информация, и как отдельные топографические слои: гидрографическая сеть, населенные пункты, рельеф и т. д. Топографические данные, используемые в ГИС, обязательно должны использовать единую систему координат. Точность привязки данных относительно друг друга – параметр, который необходимо определить заранее и который зависит от поставленных задач. Например, при подготовке карты 10-миллионного масштаба точность привязки данных относительно друг друга должна быть значительно ниже, чем при создании карт 10-тысячного масштаба. Как правило, выбор точности отображения объектов на картах в зависимости от масштаба карты определяется инструкциями при составлении карт.

Данные дистанционного зондирования – важный источник актуальной оперативной информации и, пожалуй, единственный из возможных. Наиболее важными характеристиками ДДЗ являются: разрешение, спектральный диапазон, набор каналов, охват. База данных по различным спутникам и камерам.

Тематические данные. Примеров тематических данных может быть приведено огромное множество, начиная от различных карт зонирования по ландшафтному, почвенному, инженерно-геологическому или любому другому признаку и кончая картами структурно-функционального зонирования. В качестве примера тематических данных можно привести лесоустроительные данные, которые могут использоваться в виде отдельных планшетов с детальным описанием выделов или же быть сильно генерализованными и описывать породный состав целых лесничеств или лесхозов. Другим примером тематических данных в экологии является информация о биоразнообразии – точки встреч видов, ареалы, зоны плотности. Во многих странах существуют специальные службы, проводящие инвентаризацию подобного рода данных.

Представление пространственных данных – способ цифрового описания пространственных объектов, тип структуры пространственных данных. Наиболее употребительными представлениями являются: векторное, растровое, регулярно-ячейчатое и квадротомическое. К менее распространенным или применяемым для представления пространственных объектов определенного типа относятся также гиперграфовая модель, модель типа TIN и ее многомерные расширения. Известны гибридные представления пространственных данных. Машинные реализации представления пространственных данных называют форматами пространственных данных. Существуют способы и технологии перехода от одних представлений пространственных данных к другим (к примеру, растрово-векторное преобразование, векторно-растровое преобразование).

Векторное представление – цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар, с описанием только геометрии объектов. Векторное представление – наиболее гибкий и широко используемый способ для представления данных в базе геоданных, который пригоден для отображения объектов с дискретными границами, таких, например, как: скважины, улицы, реки, штаты и земельные участки. Обычно векторные данные пространственно отображаются в виде точек, линий или полигонов. Ниже дан обзор векторных элементов в базе геоданных.

Класс объектов. Это таблица в базе геоданных, которой вы можете приписывать «поведение». Строки в таблице соответствуют записям для отдельных объектов, которые имеют свое «поведение» в ГИС. Например, к классу объектов могут быть отнесены объекты типа «собственник» «земельных участков». Пользователь может устанавливать взаимоотношения между полигональными векторными объектами для земельных участков и объектами класса собственников.

Класс векторных объектов. Совокупность векторных объектов одного типа. Векторным объектом является простой объект, который имеет географическое положение, сохраняемое как одно из его свойств или в соответствующих полях в строке таблицы. Обычными типами геометрии таких объектов являются точки, линии, полигоны или аннотации. Примерами векторных объектов могут служить реки, административные округа, административные регионы для проведения переписи населения и т. п. Классы векторных объектов могут быть независимыми или взаимосвязаны с другими классами векторных объектов. Если классы взаимно связаны, то вместе они организуются в набор векторных объектов, о которых сказано чуть ниже.

Атрибуты векторных объектов. Свойства объектов хранятся как данные в полях таблицы для класса векторных объектов. Атрибуты определяют стандартные и частные свойства векторных объектов и могут быть численными, текстовыми или описательными идентификаторами.

Пространственная привязка. Система наземных координат, в которой представлен набор данных. Она служит для описания реального положения набора данных на земле. Пространственная привязка включает такие характеристики, как тип картографической проекции, тип данных, допустимый диапазон значений координат (например, для координат x , y или x , y , z) и т. п.

Подтипы. Набор классов для отдельных представителей класса векторных объектов. Класс векторных объектов может содержать векторные объекты, которые имеют одинаковое «поведение» и одинаковые свойства, но их значение или роль в данной модели могут отличаться. Например, если требуется различать стальные трубы и трубы из поливинилхлорида (ПВХ), а также роль каждой из этих труб в данной модели, то может оказаться целесообразным ввести один класс векторных объектов «трубы», а для того, чтобы различать различные виды труб, использовать подтипы.

Набор векторных объектов. Совокупность классов векторных объектов с одинаковой пространственной привязкой. Классы векторных объектов в наборе векторных объектов могут быть организованы в виде сети или пространственных топологий. Наборы векторных объектов аналогичны покрытиям, в которых они являются совокупностью связанных классов векторных объектов, однако наборы векторных объектов имеют меньше ограничений и более функциональны, чем покрытия. Наборы векторных объектов становятся особенно полезными, когда в вашей ГИС необходимо моделировать системы пространственно связанных векторных объектов, таких как производственные сети, дороги, слои, характеризующие окружающую среду (например, почвы, топография, растительность), географические регионы для переписи населения и т. п.

Взаимоотношения. Связь между двумя объектами. Взаимные отношения позволяют вам работать с векторными объектами и соответствующими строками в таблице, а также с взаимными отношениями между строками. Взаимоотношения организуются в классы взаимоотношений. Указанные классы взаимоотношений определяют набор взаимоотношений между двумя классами векторных объектов или классами объектов. Например, используя взаимные связи, можно создавать аннотации для соответствующих объектов. Вы можете определить, что случится с аннотацией, если объект будет перемещен, удален или если изменится его атрибутивное значение.

Геометрические сети. Определяемый пользователем набор классов векторных объектов, которые образуют часть неразрывной сети, состоящей из краевых элементов, переходов и поворотов. Вы определяете набор классов векторных объектов, которые включаются в геометрическую сеть, роль каждого класса векторных объектов (например, краевых элементов или переходов) и организуете эти классы векторных объектов в набор векторных объектов. Например, в сетях водоснабжения задвижки и манометры играют роль переходов, а сами магистрали и станции обслуживания играют роль краевых элементов.

Пространственная топология. Определяемый пользователем набор классов векторных объектов, которые используют общую геометрию. Пространственная топология позволяет вам использовать один общий набор линий, чтобы представить геометрию ряда классов векторных объектов. Например, такие классы объектов, как типы почв, растительность, модель местности и водные объекты, могут использовать совместно общие границы полигонов. Любое изменение, внесенное в общую границу, автоматически обновляет коллективно используемые границы для всех этих векторных объектов. Классы векторных объектов, которые участвуют в пространственной топологии, организуются в такие же наборы векторных объектов.

Домены. Определяют допустимые значения для атрибутов в виде диапазона или набора значений. Домены можно использовать для проверки корректности любого атрибута в базе геоданных.

Правила проверки корректности. Одно или более ограничений, накладываемых на значения атрибутов, топологию или положение векторных объектов, чтобы обеспечить единство «поведения» для ваших векторных объектов. Например, правила неразрывности накладывают ограничения на места соединений в сетях.

Векторно-топологическое представление – разновидность векторного представления линейных и полигональных пространственных объектов, описывающего не только их геометрию, но и топологические отношения между полигонами, дугами и узлами.

Топологизация – автоматическая или интерактивная процедура построения топологии при преобразовании векторных нетопологических представлений в векторные топологические представления. Топологизация может входить в состав операций векторизации.

В машинной реализации векторному представлению соответствует векторный формат пространственных данных.

Растровое представление данных. Базы геоданных могут содержать наборы растровых данных, каждый растр представляет изображаемое пространство в виде одинаковых по размерам элементов или пикселов. Набор растровых данных хранится в виде двумерной матрицы с определенным значением параметра для каждого элемента изображения. Каждый элемент изображения имеет одинаковые размеры по высоте и ширине. Положение (географические координаты) верхнего левого угла грида вместе с размерами элемента и числом элементов в строках и столбцах определяет пространственный экстенд растрового набора данных.

Растровые данные представляют собой обособленный класс данных, используемый в ГИС.

Растровые наборы данных содержат один или более слоев, называемых полосами (bands). Например, обычное цветное изображение состоит из трех полос (красной, зеленой и синей), изображение цифровой модели местности (DEM) содержит одну полосу (полутонное монохромное изображение со значениями яркости, соответствующими отметкам высот), а многоспектральное изображение может иметь много спектральных полос.

Каждая полоса растра содержит помимо самих элементов такие важные данные, как:

- статистика (минимальное, максимальное и среднее значение для элементов изображения);
- гистограмма значений яркости элементов изображения;
- таблица значений атрибутов (необязательная вспомогательная атрибутивная информация о различных значениях элементов изображения);
- принятая по умолчанию цветовая таблица (color map) для отображения растрового изображения (необязательна);
- поддержка растровых изображений большого объема.

Растровые наборы данных в базах геоданных могут занимать очень большие объемы и покрывать большие географические области, обеспечивая при этом высокое разрешение. Для обеспечения эффективного доступа и хранения таких данных в базе геоданных растровые данные автоматически режутся на отдельные фрагменты и при этом сжимаются. Вы можете использовать этот метод, чтобы создавать очень большие растровые наборы данных в базе геоданных. При загрузке растровых данных можно сшивать в мозаику необходимое число таких фрагментов, чтобы обеспечить покрытие требуемого экстенда. Поскольку растровые данные могут покрывать очень большие площади, вам часто будет необходимо использовать вырезанные фрагменты из общего слоя растровых данных. Когда вы работаете с большой растровой базой данных, то можете определять видимый экстенд растрового изображения, чтобы минимизировать время на ожидание получения данных с сервера. Для ускорения отображения передача данных ограничивается автоматически текущим экстендом карты.

Для работы с очень большими растрами часто имеет смысл не укладывать эти растры в базу данных, а пользоваться каталогом снимков – таблицей со ссылками на растровые файлы. Таблица может лежать в базе данных, а снимки – на файловом сервере.

Пирамидальные слои увеличивают скорость отображения. Вы можете создавать пирамидальные слои для растровых данных, они представляют собой ряд слоев, получаемых из исходного изображения с понижением разрешения. Каждый слой получается в результате преобразования (resampling) исходного изображения в изображение с более грубым пространственным разрешением. Пирамидальные слои используются для ускорения процесса вывода и отображения растровых изображений в тех ситуациях, когда вы не используете максимальное разрешение в изображении (например, при уменьшении масштаба изображения на экране). Каждый последующий слой пирамид характеризуется более высокой степенью обобщения.

Каждое растровое изображение преобразуется в новый растр с большими размерами элемента изображения, чем у предыдущего слоя в пирамиде.

Для хранения растрового набора данных с созданными пирамидальными слоями требуется дополнительная память, которая зависит от числа слоев в пирамиде. Обычно затраты памяти для создания пирамидальных слоев составляют около 8 % от исходного объема. Однако выигрыш от создания пирамидальных слоев при работе с большими изображениями оказывается неизмеримо большим. Как правило, этот выигрыш начинает сказываться при объеме изображений, превышающем 100 Мб.

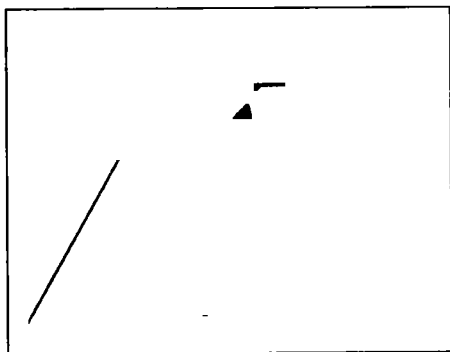


Рис. 2. Пирамидальные слои

Сканирование – этап цифрования графических и картографических источников для их векторного представления. Сканирование предваряет процесс растрово-векторного преобразования (векторизации).

Машинная реализация растрового представления данных представляет собой растровый формат. Наиболее известные растровые форматы: TIFF, BMP, JPEG, GIF, PNG.

Регулярно-ячеистое представление пространственных данных (cellular data model, tessellation) – цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек регулярной сети с присвоенными им значениями класса объекта, в отличие от растрового представления как совокупности элементов растра (пикселей). В цифровой картографии этому соответствует матричная форма представления цифровой картографической информации.

Квадратомическое представление данных основано на принципе рекурсивного иерархического разбиения пространства. Является компромиссным вариантом между растровым и векторным представлением данных. В растровом формате информация занимает слишком много места, а векторный формат не может обеспечить быстрый доступ к информации. Это позволяет одновременно уменьшить объем хранимой информации и облегчить доступ к ней. Кроме того, квадродерева удобно использовать в качестве структуры для организации баз пространственных данных.

Хранимые в БД данные распространяются на *информационные объекты*, определяемые как описание сущности реального объекта, процесса, события. Состав данных о каждом информационном объекте БД находится в зависимости от требований к *качеству* формируемой из них информации, предъявляемых ГИС. Спектр оценки качества информации современных ГИС широк и включает репрезентативность или адекватность, содержательность, достаточность, доступность, актуальность, своевременность, точность, достоверность и устойчивость информации. В конкретных ГИС допустимые уровни параметров качества информации определяются оптимальным соотношением функциональных и эксплуатационных требований, предъявляемых к системе, возможностями программно-аппаратных средств, а также объемами перерабатываемой информации, оцениваемыми в различных мерах информации: синтаксической, семантической и прагматической.

Процесс извлечения информации из данных осуществляется с использованием внешних «дополнительных» данных структурного плана: систематики и классификации, связей, привлечения мышления или интуиции – т. е. всего того, что базируется на знаниях о предмете реального мира. Понятие *знание*, тесно связанное с понятием информации, в философском понимании есть «отражение семантических аспектов реальности в мозгу человека». Знания предполагают системность, структурированность информации и отражают выявленные закономерности предметной области (принципы, связи, законы), представляя собой, по сути, хорошо структурированные данные или данные о данных (метаданные). Знания формируются в форме *базы знаний* (БЗ), понимаемой в качестве хранилища прагматических сведений о проблемной области в виде формальной структуры, содержащей факты и правила, которые позволяют решать задачи в этой области базы знаний.

Исходя из изложенного, структура БД может рассматриваться одновременно в нескольких аспектах:

- пространственном, в связи со спецификой представления геопространственных данных;
- прикладном, определяющем способы решения проблем и задач ГИС;
- функциональном, рассматривающем ГИС как совокупность подсистем, обеспечивающих сбор, хранение, преобразование, отображение, распределение информации;
- системном, в связи с особенностями технологий, интегрированных в ГИС.

Методы визуализации, применяемые в геоинформатике и геоинформационных системах, определяются математической структурой отображаемых объектов.

Точечные множества отображаются при помощи маркеров (в картографической терминологии – внемасштабными картографическими условными знаками). Ребра плоских графов рисуются как кривые, а их грани – как многоугольники, заполненные цветом, штриховкой или по шаблону. Функции двух переменных могут отображаться картами изолиний с пометками и/или засечками, с заполненными или заштрихованными промежутками между отдельными изолиниями, а также перспективными проекциями поверхностей на плоскость в виде криволинейной сетки.

В целом соотношение между пространственными объектами, их математическим и визуальным представлением приведено в табл. 1.

Табл. 1. Соотношение между математическим и визуальным представлением данных

| Пространственные объекты | Математическое представление | Метод визуализации |
|----------------------------------|------------------------------|--|
| Точечные (нульмерные) | Плоские точечные множества | Маркеры (условные картографические знаки) |
| Одномерные (линейно-протяженные) | Плоские графы | Кривые, соединяющие точки-маркеры |
| Двумерные (плоские) | Грани плоского графа | Многоугольники, залитые цветом |
| Трехмерные | Функция двух переменных | Карта горизонталей, перспективная проекция поверхности |

Взаимосвязи между данными описываются в основном при помощи пяти иерархических уровней. На нижнем уровне находятся геометрические и картографические примитивы со своими признаками. Тематическая информация об объектах образует уровень характеристик. Картографические примитивы вместе с тематической информацией образуют слои. Слои объединяются в библиотеки. Несколько библиотек образуют базу данных.

Геометрическими примитивами являются узлы, сегменты (отрезки дуг и кривых) и многоугольники (ареалы). Узлами обозначаются отдельные географические точки или характеристики объектов, которые так малы, что не могут быть представлены сегментами или многоугольниками. Они соединяются между собой сегментами. Сегменты имеют линейные характеристики и ограничивают много-

угольники. Так, например, часть дороги может быть сегментом леса. Многоугольники имеют площадные характеристики (например, часть океана или парк).

Картографическим примитивом также является текст вместе с точкой привязки текстовой информации без связи с любым данным объектом. Характеристики этих примитивов содержатся в различных типах таблиц примитивов, таких как: таблицы узлов, таблицы сегментов, таблицы многоугольников, объединяющие сегменты в многоугольники, и текстовые таблицы.

Модель взаимосвязей определяет характеристики, заданные таблицами примитивов и атрибутов. Имеется три типа классов характеристик: класс простых характеристик (точки, образующие узлы; линии, образующие сегменты; площади, образующие многогранники), класс комплексных характеристик (составленный из простых характеристик) и класс характеристик текста.

Слои состояются из классов характеристик, взаимодействующих с примитивами по определенной технологии. Слои могут рассматриваться как аналогичные цветовые составляющие карты или элементарные объекты карты, хотя нет никаких ограничений для составления слоев по другому конструкционному признаку.

Определение слоев позволяет поддерживать различные уровни технологии и различную степень интеграции. Уровень 3, который имеет также название «полная топология», разбивает слои поверхности на отдельные полигональные области, ограниченные сегментами. Сегменты соединяются между собой узлами.

Уровень 2, или «плоский граф», представлен наборами сегментов и узлов, спроектированных на плоскость. Уровень 1, или «неплоский граф», состоит из набора сегментов, которые могут быть соединены между собой узлами. Уровень 0 представляет метод «спагетти» и составляется из невязаных узлов и сегментов. Сегменты содержат только координаты. Каждому слою и уровню приписываются определенные характеристики.

Контрольные вопросы

1. Дайте свое определение информации.
2. Перечислите свойства информации.
3. Что общего и в чем разница понятия «информация», «сообщение», «данные»?
4. Что объединяет и в чем разница понятий «геоинформация» и «геоданные»?
5. Объясните, как геоинформатика выступает в роли науки, технологии, производственной деятельности.
6. Приведите различные примеры использования геоинформатики.
7. В чем сходство и в чем различие понятий «геоинформатика» и «ГИС»?
8. Как вы понимаете понятие «геоинформационная технология»?
9. Создайте технологические схемы использования геопространственных данных в задачах АСУ, САПР, АСНИ.
10. Дайте определение геоинформационного менеджмента.
11. Дайте определения и оцените сходство и различие понятий «тип данных», «модель данных», «структура данных», «представление пространственных данных», «формат данных».

ГЛАВА 2

Принципы функционирования ГИС

2.1. Функциональные задачи, решаемые в ГИС

ГИС общего назначения обычно выполняет следующие процедуры над данными: ввод и переработка, запись и хранение, запрос и управление, тематическая обработка и анализ, интерпретация и отображение.

Для использования в ГИС данные должны быть преобразованы в подходящий цифровой формат. Процесс преобразования данных с бумажных карт в компьютерные файлы называется оцифровкой. В современных ГИС этот процесс может быть автоматизирован с применением сканерной технологии, что особенно важно при выполнении крупных проектов, либо при небольшом объеме работ данные можно вводить с помощью дигитайзера. Отдельные данные поступают в ГИС уже в форматах, напрямую воспринимаемых ГИС-пакетами.

Часто для выполнения конкретного проекта имеющиеся данные нужно дополнительно видоизменить в соответствии с требованиями системы. Например, геопространственная информация может представляться в разных масштабах (осевые линии улиц – в масштабе 1 : 100 000, границы округов переписи населения – в масштабе 1 : 50 000, а жилые объекты – в масштабе 1 : 10 000). Для совместной обработки и визуализации все данные удобнее представить в едином масштабе, поэтому ГИС-технология предоставляет разные способы манипулирования пространственными данными, востребуемыми для конкретной задачи.

В небольших проектах геоинформация может храниться в виде обычных файлов, при увеличении объема информации и числа пользователей для хранения, структурирования и управления данными эффективнее применять системы управления базами данных (СУБД) и специальные компьютерные средства для работы с интегрированными наборами данных (базами данных). В ГИС наиболее удобно использовать реляционную структуру, при которой данные хранятся в табличной форме. При этом для связывания таблиц применяются общие поля. Этот простой подход достаточно гибок и широко используется во многих, в том числе и ГИС приложениях.

При наличии ГИС и соответствующих данных можно получать ответы на простые вопросы (Кто владелец данного земельного участка? На каком расстоянии друг от друга расположены эти объекты? Где расположена промзона) и более сложные,

требующие дополнительного анализа запросы (Где есть места для строительства нового дома? Как повлияет на движение транспорта строительство новой дороги?). Запросы могут задаваться как простым щелчком мышью на определенном объекте, так и посредством развитых аналитических средств. С помощью ГИС можно выявлять и задавать шаблоны для поиска, проигрывать сценарии по типу «что будет, если...». Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для анализа, среди них выделены такие значимые как: анализ близости и анализ наложения. Для проведения анализа близости объектов относительно друг друга в ГИС применяется процесс, называемый буферизацией. Он помогает ответить на вопросы типа: Сколько домов находится в радиусе 100 м от этого водоема? Сколько жителей обслуживает поликлиника в заданном микрорайоне. Процесс наложения включает интеграцию данных, расположенных в разных тематических слоях. В простейшем случае это операция отображения, но при ряде аналитических операций данные из разных слоев объединяются физически. Наложение, или пространственное объединение, позволяет, например, интегрировать данные о составе почв, близости и характеристики дорожной сети, растительности и землевладении со ставками земельного налога.

Для многих видов манипуляций и обработки пространственных данных конечным результатом является их представление в виде карты или графика. Карта – это эффективный и информативный способ хранения, представления и передачи геопространственной информации. Раньше карты создавались только на твердой (бумажной) основе на несколько десятилетий. ГИС предоставляет новые инструменты, существенно расширяющие и развивающие искусство и науку отображения геоданных. С ее помощью визуализация самих карт может быть легко дополнена отчетными документами, трехмерными изображениями, графиками и таблицами, фотографиями и другими средствами, например мультимедийными.

Геоинформационные системы и технологии тесно связаны с рядом других типов информационных систем. Основное отличие ГИС заключается в способности манипулировать и проводить анализ пространственных данных. Хотя и не существует единой общепринятой классификации информационных систем, приведенное ниже краткий анализ позволил отделить ГИС от других близких по назначению систем: автоматизированных картографических систем, систем автоматизированного проектирования САПР (CAD), систем управления базами данных (СУБД) и дистанционного зондирования.

Системы автоматизированного картографирования используют картографическое представление для организации взаимодействия пользователя с данными. В таких системах все основано на картах, карта является и источником информации, и базой данных, и средством отображения. Большинство систем автоматизированного картографирования имеет по отношению к ГИС ограниченные возможности управления данными, пространственного анализа, манипулирования данными и визуализации.

Основное предназначение САПР – выполнение проектных работ с применением компьютерной техники. САПР позволяет создавать конструкторскую и технологическую документацию на отдельные изделия, здания и сооружения. САПР

реализуется в виде комплекса прикладных программ, обеспечивающих проектирование, черчение, трехмерное моделирование плоских или объемных деталей. Некоторые системы САПР расширены до поддержки картографического представления данных, но, как правило, имеющиеся в них утилиты не позволяют эффективно управлять и производить анализ больших баз пространственных данных.

Дистанционное зондирование – это научно-техническое направление для проведения наблюдений земной поверхности с использованием съемных систем, установленных на борту летательных аппаратов. Собранные данные в результате фотограмметрической обработки и дешифрирования могут быть использованы для создания и обновления карт. Однако из-за отсутствия мощных средств управления и анализа графических данных системы ДЗ вряд ли можно отнести к современным ГИС.

Системы управления базами данных предназначены для хранения и управления всеми типами данных, включая и географические (пространственные) данные. СУБД направлены на решение подобных задач, поэтому во многие ГИС встроена поддержка СУБД. Однако эти системы не имеют сходных с ГИС инструментов для графического анализа, визуализации и других видов интерпретации пространственных данных.

Способность ГИС проводить поиск в базах данных и осуществлять пространственные запросы помогает сократить время получения ответов на запросы клиентов; выявлять территории, подходящие для требуемых мероприятий; устанавливать взаимосвязи между различными объектами местности и явлениями природы и т. д. Например, риелторы могут использовать ГИС для поиска (домов на определенной территории, трехкомнатные и 10-метровые кухни) и выдачи более подробного описания для этих строений, введением дополнительных параметров, таких как получение списка всех домов, находящихся на заданном расстоянии от лесопаркового массива или места работы.

Таким образом одно из основных достоинств ГИС – предоставление возможностей на единой информационной платформе и при использовании разнородных геопространственных данных получения решения комплекса отдельных задач, назначение которых описаны в разделе 1.2 и представлены на схеме 1. Комплексность решения этих задач и есть следствие эффективности ГИС, вытекающей из ее интеллектуальной интегрированности, картографической и трехмерной визуализации, наличия удобного графического интерфейса.

Эти качества ГИС способствуют улучшению управления как любой организации в целом, так и ее отдельных подразделений на принципе объединения имеющихся у нее экологических, социальных и технологических ресурсов.

ГИС, как и другие информационные технологии, подтверждает известное утверждение о том, что лучшая информированность помогает принять лучшее решение. Однако ГИС – это не инструмент для выдачи окончательного решения, а только средство, помогающее ускорить и повысить эффективность процедуры принятия решений, обеспечивающее ответы на запросы и функции анализа пространственных данных, представления результатов анализа в наглядном и удобном для восприятия виде.

Требуемая для принятия решения информация может быть представлена в виде электронного картографического изображения с дополнительными текстовыми пояснениями, графиками и диаграммами, а также и в виде 3D-моделей. Наличие доступной для восприятия и обобщения информации позволяет абоненту сосредоточить свои усилия на поиске решения, не тратя значительного времени на сбор и осмысление доступных разнородных данных. Можно достаточно быстро рассмотреть несколько вариантов решения и выбрать наиболее эффективный.

Картам в ГИС отведено особое место. Процесс создания карт в ГИС более производительен и гибок, чем в традиционных методах ручного или автоматического картографирования. Он начинается с создания базы данных. Основанные на ГИС картографические базы данных могут быть непрерывными (без деления на отдельные листы и регионы) и не связанными с конкретным масштабом. На основе таких баз данных можно создавать карты (в электронном виде или как твердые копии) на любую территорию, любого масштаба, с нужной нагрузкой, с ее выделением и отображением требуемыми символами. В любое время база данных может пополняться новыми данными (например, из других баз данных), а имеющиеся в ней данные можно корректировать по мере необходимости. При этом созданная картографическая база данных может использоваться в качестве основы другими отделами и подразделениями, а также при быстром копировании данных и их пересылке по локальным и глобальным сетям, в том числе ведомствами, расположенных в разных местах.

2.2. Функциональная схема и оценка эффективности ГИС

В состав технических средств современных геоинформационных систем (ГИС) входят работающие в едином комплексе высокопроизводительные компьютеры с соответствующим системным и прикладным программным обеспечением и периферийные устройства, обеспечивающие выполнение специальных функций, являющихся обязательными для этих систем. Естественно, что эффективность обработки геопространственных данных в таких системах будет зависеть от всех ее составляющих.

Однако необходимо отметить, что на данном этапе развития техники разработка специальных периферийных устройств для ГИС отстает от используемых в ней вычислительных средств и этот факт при решении ряда задач в некоторых случаях ограничивает эффективность ГИС. В первую очередь данные ограничения связаны с физическими возможностями, сопровождающими информационно-измерительные и информационно-энергетические преобразования в этих устройствах, а также со сложностью технических и технологических проблем по обеспечению точности и быстродействия периферийных устройств.

В профессиональных ГИС можно выделить следующие основные технологические этапы функционирования.

1. Сканирование и преобразование исходной информации (карт, аэроснимков) в цифровую форму (ввод).

2. Организация и хранение цифровых данных (работа с базой данных).
3. Выполнение преобразований и вычислений по заданным алгоритмам (тематическая обработка).
4. Визуализация промежуточных результатов обработки.
5. Оперативное подключение пользователя в процесс обработки (интерактивный режим).
6. Регистрация результатов обработки (в виде изображения), в том числе и на «твердый» носитель (вывод).

Из этих этапов второй, третьей и (отчасти) пятый выполняются с помощью высокопроизводительных компьютеров, а первый, четвертый и шестой этапы осуществляются в ГИС с использованием специальных периферийных устройств (СПУ).

По функциональному назначению СПУ можно подразделить на следующие группы:

- устройства ввода изображений (сканирующие устройства, устройства считывания), предназначенные для преобразования исходных изображений в цифровую форму;
- устройства вывода, предназначенные для регистрации результатов обработки на твердый носитель: на бумагу или фотоноситель;
- устройства оперативного отображения видеoinформации, обеспечивающие как интерактивный режим взаимодействия оператора с компьютером в процессе измерений и обработки изображений, так и оперативный контроль этапов и результатов обработки;
- специализированные внешние запоминающие устройства (например, видеоманитфон сверхбольшой емкости, оптические носители, flash-память и др.)

Параметры специальных периферийных устройств могут быть разделены на три достаточно независимые группы:

- информационно-измерительные параметры – метрические, в основе которых, как правило, лежат физико-технические характеристики и свойства системы (точность, быстродействие, количество информации, надежность и т. д.).
- системные параметры, включающие в себя такие характеристики, как технологическая универсальность (возможность работы с различными видами изображений; форматами и т. д.), системная универсальность (наличие различных режимов работы), удобство интерфейса пользования, эргономичность и др.;
- экономические параметры (стоимость, эксплуатационные затраты и др.).

Информационно-измерительные параметры во многих случаях являются основополагающими при оценке и выборе периферийных устройств. Кроме этого, они используются для определения комплексной характеристики этих устройств – информационно-измерительного инварианта, который во многих случаях можно выразить в виде функционала от комплекса информационно-измерительных параметров. Использование информационно-измерительного инварианта особенно удобно при оценке периферийных устройств, относящихся к одному классу и предназначенных для выполнения одних и тех же функциональных процессов.

Из приведенного выше следует, что ГИС представляет собой сложную систему, стоимость и техническая эффективность которой в значительной степени определяется архитектурой системы и техническими параметрами СПУ, которыми она комплектуется. С другой стороны, ускорение темпов научно-технического прогресса, особенно в области вычислительных средств, стало причиной более быстрого их морального старения и значительного сокращения вследствие этого сроков их службы. Поэтому правильный выбор наиболее рациональной архитектуры системы путем учета самых разнообразных факторов, свойственных каждому этапу «жизни» входящих в эту систему технических и математических средств, является весьма важной задачей, причем как на этапе проектирования подобных систем, так и на этапе их приобретения для эксплуатации.

Определяя качество технического средства (или системы) как совокупность его физических свойств, характеризующих степень пригодности данного средства (системы) для использования по назначению, сформулированная выше задача выбора наиболее рациональной архитектуры может быть сведена к методике оценки качества технических средств и систем через критерий эффективности системы. Остановимся на выборе такого критерия.

Исходя из введенного представления по составу геоинформационных систем, можно задать пространство свойств, критерий и определить количественный подход для оценки эффективности геоинформационных систем. При этом необходимо иметь в виду, что, поскольку ГИС широко применяется в различных предметных областях, пространство выбираемых свойств может частично пополняться или сокращаться в зависимости от области применения этого инструментального средства ГИС. В качестве основных свойств, определяющих эффективность инструментально-программного средства (ИПС) геоинформационных систем, приняты следующие.

- Точность съема и записи в БД координат изображений объектов (ТКИ).
- Полнота восприятия и представления исходной информации в системе (ПВИ).
- Производительность системы (ПС).
- Совокупность функциональных операций, выполняемых системой (СФО).
- Эксплуатационные возможности (Э).
- Стоимость системы (СТ).

Первые три из перечисленных свойств относятся к разряду физико-технических и каждое из них может быть описано с помощью критерия:

$$\eta_i = \frac{q_n - q_\phi}{q_n + q_\phi}, \quad (1)$$

где q_n, q_ϕ – соответственно пороговый и фактический параметры, характеризующие рассматриваемое свойство таким образом, чтобы $q_n > q_\phi$.

Таким образом, значение η_i может принять любое значение, принадлежащее отрезку $[0,1]$. Причем чем больше значение η_i , тем лучше данная система соответствует заданному свойству.

Для интегральной оценки точности съема и записи в БД координат изображений объектов введем критерий:

$$Q_{\text{тки}} = \eta_x \cdot \eta_y,$$

где η_x , η_y – оценки точности по оси x и y снимка, определяемые как:

$$\eta_x = \frac{\sigma_{\text{нк}} - \sigma_{\phi_x}}{\sigma_{\text{нк}} + \sigma_{\phi_x}}, \quad \eta_y = \frac{\sigma_{\text{ны}} - \sigma_{\phi_y}}{\sigma_{\text{ны}} + \sigma_{\phi_y}},$$

где $\sigma_{\text{нк}}$, $\sigma_{\text{ны}}$ – предельно допустимые средние квадратические погрешности векторизации;

σ_{ϕ_x} , σ_{ϕ_y} – фактические средние квадратические погрешности векторизации, определяемые как:

$$\sigma_{\phi_x} = \frac{\sqrt{\sum \Delta x_i^2}}{N-1}, \quad \sigma_{\phi_y} = \frac{\sqrt{\sum \Delta y_i^2}}{N-1},$$

где Δx_i , Δy_j – смещения соответствующих координат контрольных точек от истинных значений; N – число рассматриваемых контрольных точек.

Отметим, что значения $Q_{\text{тки}}$ преимущественно будут зависеть от таких операций, выполняемых в ГИС, как предобработка и выбор форматов графических и видеоданных, векторизация изображений, а также от прикладного математического обеспечения, используемого для обработки этих данных.

Наиболее сложным для оценки свойством системы является полнота восприятия и представления исходной информации в системе (ПВИ), поэтому остановимся на нем несколько подробнее. Под оценкой ПВИ будем понимать способность системы с определенной мерой достоверности интерпретировать реальные объекты, явления и отношения между ними при ситуационном пространственно-временном моделировании, осуществляемом в системе. Вданной формулировке принято представление о ГИС как о системе, назначение которой связано с выработкой каких-то решений (рекомендаций) на основе построения пространственно-временных моделей объектов, явлений и ситуаций на заданных территориях. Естественно, чем слабее степень адекватности полученных моделей с действительной ситуацией, тем ниже вероятность принятия верного решения.

Таким образом, последним этапом до принятия решения в ГИС является этап, связанный с построением цифровой модели местности и(или) явления (ЦММ) на заданную территорию для фиксированного момента времени. Если построенную ЦММ характеризовать вектором, заданным в пространстве описываемых объектов, явлений и ситуаций, то отклонение этого вектора от эталонного на рассматриваемую территорию по заранее выбранной мере и приводит в конечном счете к снижению эффективности функционирования ГИС в целом.

Причинами, вызывающими подобное отклонение на каждом этапе построения ЦММ, являются и вид источников исходной информации о местности (снимки, карты, геодезические измерения и т. д.), и качество восприятия этой информации системы ввода инструментальных средств ГИС (пространственная, спектральная

разрешающие способности, помехозащищенность, надежность и количество информации, воспринимаемой в единицу времени, и т. д.), и потери информации, сопровождающие такие процедуры, как фильтрация, векторизация или интерполяция изображений, конвертирование форматов данных, а также процессы, связанные с воспроизведением ЦММ, интерпретацией в виде электронных карт и ортофотоизображений на экранах мониторов.

Так как большинство источников искажения информации носит случайный характер, то за меру отклонения вектора ЦММ от эталонного, возникающего на каждом i -м этапе функционирования ГИС, можно принять число

$$\gamma_i = P \{ \|\Delta_i\| < \epsilon \}, \quad (2)$$

характеризующее вероятность события, при котором норма разности $\|\Delta_i\|$, между вектором построенной ЦММ и эталонным не превосходит заданного значения ϵ , определяющего степень неадекватности в интерпретации реальной ситуации. Исходя из вышеприведенной формулы можно дать общую оценку потерь информации при ее обработке в инструментальной среде ГИС:

$$H_p = - \sum_{i=1}^r p_i \log_2 [1 / (\gamma_i + 1)], \quad (3)$$

где p_i – вероятность появления искажения информации на i -м этапе ее обработки, r – общее число этапов, связанных с обработкой геоданных в ГИС.

Если теперь за предельно допустимое значение суммарных потерь информации для ГИС принять пороговое значение H_n , тогда оценка свойства ПВИ может быть выполнена по критерию:

$$Q_{\text{ПВИ}} = \begin{cases} \frac{H_n - H_\phi}{H_n + H_\phi}, & \text{при } H_n > H_\phi \\ 0, & \text{при } H_n \leq H_\phi \end{cases} \quad (4)$$

Количественную оценку производительности Q_{nc} системы будем осуществлять по формуле

$$Q_{\text{nc}} = \frac{T_n - T_\phi}{T_n + T_\phi}, \quad (5)$$

где T_n – пороговое значение времени, затрачиваемого на получение конечного продукта; T_ϕ – фактическое значение времени, затрачиваемого на получение конечного продукта.

Одной из важнейших характеристик ГИС является набор функциональных операций, который этой системой предоставляется. Так как набор таких операций достаточно большой, то целесообразно всю совокупность набора функциональных операций (НФО) разбить на отдельные классы в соответствии с введенным разбиением ИПС геоинформационных систем на блоки. Тогда операции, входящие в каждый отдельный класс, образуют подкласс данного класса операций.

Для количественной оценки свойства НФО будем использовать балльный критерий, определяемый следующим образом.

$$Q_{\text{нфо}} = \prod_{i=1}^G \eta_i^{1-p_i}, \quad (6)$$

где G – число перечисленных классов функциональных операций; p_i – показатель важности i -го класса, удовлетворяющий условию $0 < p_i < 1$ и определяемый как отношение весомости i -го класса на максимальную весомость среди всех классов; η_i – оценка i -го класса функциональных операций определяется следующим образом.

$$\eta_i = \sum_{j=1}^{S^{(i)}} b_j^{(i)} \cdot q_j^{(i)},$$

где $S^{(i)}$ – число подклассов i -го класса; $q_j^{(i)}$ – весомость j -го подкласса i -го класса, принимающая различное значение для конкретной предметной области, причем

$$\sum_{j=1}^{S^{(i)}} q_j^{(i)} = 1, \text{ и } 0 < q_j^{(i)} \leq 1,$$

где $b_j^{(i)}$ – балльность j -го подкласса i -го класса, определяемая по балльной числовой шкале в интервале $[\beta_i, 1]$.

β_i определяется по следующему правилу: если i -й класс для исследуемой предметной области является необходимым, то β_i принимает значение 0. Если он не является необходимым для исследуемой предметной области, то для определения β_i будем исходить из следующих предпосылок: если i -й класс не выполняется, то это приводит к ухудшению функционирования системы в целом, например на α_i %. Тогда β_i определяется как коэффициент важности i -го класса:

$$\beta_i = (1 - \alpha_i / 100).$$

В общем эта предпосылка и справедлива, когда i -й класс для исследуемой предметной области является необходимым. Тогда при невыполнении i -го класса свойства приводит к непригодности системы для использования в исследуемой предметной области, т. е. к ухудшению функционирования системы на 100 % и $\beta_i = 0$.

Часто на выбор программно-инструментальных средств ГИС оказывают такие эксплуатационные факторы, как простота их освоения и ввода в эксплуатацию, а также удобство непосредственной работы с системой. Для оценки эксплуатационных возможностей ГИС можно использовать критерий Q_s , аналогичный балльному критерию, введенному при оценке НФО.

Важнейшей оценкой ГИС является ее стоимость, которая складывается, как правило, из ряда показателей прямых и косвенных затрат, основными из которых являются:

- непосредственная стоимость приобретаемых средств;
- затраты, связанные с доставкой этих средств;
- затраты, идущие на установку оборудования и обучение персонала;
- эксплуатационные расходы;
- затраты, связанные с необходимостью в дальнейшем расширения существующих средств.

Количественную оценку суммарной стоимости ИПС можно осуществлять по формуле

$$Q_{ст} = \frac{C_n - C_\psi}{C_n + C_\psi}, \quad (7)$$

где C_n – пороговая стоимость ИПС; C_ψ – фактическая стоимость ИПС.

Исходя из введенных критериев для оценки отдельных свойств ИПС, можно определить и эффективность ГИС в целом по следующему критерию:

$$Q = Q_{гки}^{P_{гки}} \cdot Q_{пви}^{P_{пви}} \cdot Q_{пс}^{P_{пс}} \cdot Q_{нфо}^{P_{нфо}} \cdot Q_3^P \cdot Q_{ст}^{P_{ст}}, \quad (8)$$

где $P_{гки}$, $P_{пви}$, $P_{пс}$, $P_{сфо}$, P_3 , $P_{ст}$ – весовые коэффициенты, характеризующие влияние соответствующих совокупных свойств. Они выбираются в пределах $(0, 1]$ и определяются как отношение весомости каждого отдельного совокупного свойства к максимальной весомости из всех рассматриваемых свойств системы.

К геоинформационным системам, нашедшим самое широкое практическое применение по обработке геопространственных данных, относятся автоматизированные системы, предназначенные для картографирования территорий по материалам аэрокосмических и геодезических съемок (АСК). Функциональная схема АСК, приведенная на рис. 3, состоит из пяти основных подсистем:

- подсистемы сканирования и цифрования изображения (СФС);
- подсистемы цифрования картографических материалов (СЦК);
- цифровой фотограмметрической станции (ЦФС);
- картосоставительской подсистемы (СКС);
- подсистемы отображения информации (СОИ).

Определим основное функциональное назначение каждой из перечисленных выше подсистем.

Подсистема сканирования и цифрования (СФС) предназначена для цифрования фотоснимков, полученных как на прозрачной, так и на непрозрачной основе, кодирования и ввода оцифрованных данных в ЭВМ. Система должна обеспечивать ввод данных со снимка в ЭВМ как в последовательном режиме – «точка за точкой», так и в «старт-стопном» режиме. Кроме того, система должна иметь возможность просмотра на мониторе любого выбранного фрагмента изображений.

Для того чтобы имелась возможность разделить процессы сканирования и цифрования снимков, от процессов фотограмметрической и картосоставительской обработки снимков в состав СФС входит внешнее записывающее – запоминающее устройство (ВЗУ), которое обеспечивает запись цифрового изображения на оптический диск или flash-память.

Подсистема СЦК предназначена для цифрования карт. В зависимости от вида картографического документа система может комплектоваться двумя видами цифрователей: первый представляет собой дигитайзер, а второй – сканер. Если в первом случае векторизация карты происходит непосредственно, то во втором – сначала получают растровый формат изображения, а затем по имеющемуся

электронному изображению на экране монитора производят векторизацию этого изображения. Безусловно, второй способ векторизации более перспективен из-за производительности, тогда как первый обладает более высокой надежностью и точностью цифрования.

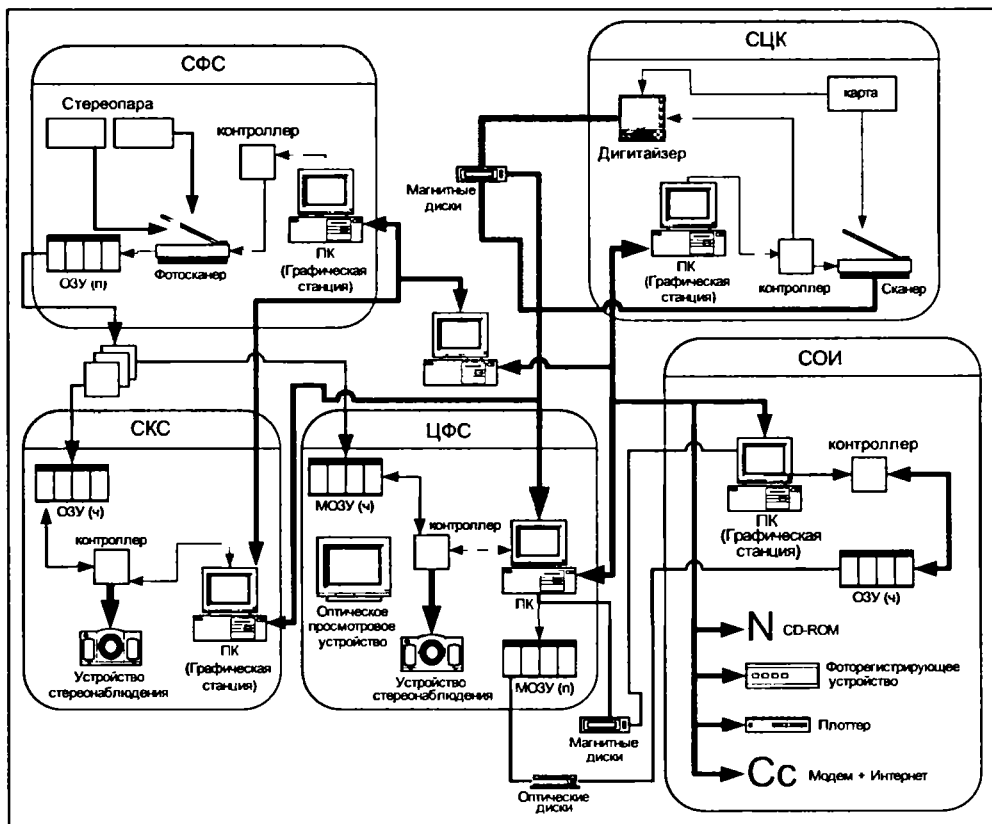


Рис. 3. Функциональная схема АСК

В подсистеме ЦФС осуществляется фотограмметрическая обработка стереопар, включающая такие процессы, как определение элементов внутреннего, взаимного и внешнего ориентирования пары снимков, построение цифровых моделей рельефа по стереопаре и получение ортофотоплана. Кроме того, на ЦФС реализуется процесс аналитической фототриангуляции.

На подсистему СКС возлагаются следующие функции: просмотр исходных фотоснимков, дешифрирование объектов, изобразившихся на снимках, редактирование цифровых изображений, векторизация и кодирование отдешифрированных объектов в соответствии с заданным классификатором, занесение этих объектов в картографическую базу данных.

Система отображения информации СОИ должна обеспечивать регистрацию и визуализацию результатов составления и обновления карт по материалам аэро-

фотосъемки. Регистрация выходных результатов обработки может выполняться как в виде электронных карт, ортофотопланов, так и в виде регистрации изображений на твердой копии в виде графических карт и фотоизображений фотопланов, фотокарт.

Все перечисленные системы могут функционировать как независимо друг от друга, так и в любом сочетании друг с другом под управлением или файл-сервера, представляющего собой отдельную компьютерную систему, или командного файла, если несколько систем в техническом плане объединены в одной компьютерной системе (один процессор).

При независимом рассредоточении по месту расположения функционирования подсистем АСК взаимодействие между ними может осуществляться через внешние носители информации (оптические диски, магнитные диски или через каналы связи и модемы).

При подобном подходе организации архитектуры АСК система может быть укомплектована в различном сочетании технических средств, входящих в ее состав, и как следствие предназначена для различного круга решаемых задач и, соответственно, иметь и разную стоимость.

Рассмотренная конфигурация системы позволяет выполнить следующие виды работ.

1. Визуальный анализ фрагментов цифровых изображений.
2. Построение геометрической модели местности по стереопаре цифровых снимков.
3. Измерение пространственных координат точек местности.
4. Построение цифровых профилей местности.
5. Построение цифровых моделей рельефа.
6. Стереорисовка горизонталей.
7. Построение цифровых моделей контуров.
8. Дешифрирование изображений.
9. Создание цифровых карт.
10. Обновление цифровых карт.
11. Получение цифровых ортопланов.
12. Преобразование графических карт в векторную цифровую форму.
13. Представление цифровых карт в графической форме.
14. Обновление графических карт.
15. Преобразование фотоснимков и графических карт в растровую цифровую форму.
16. Представление ортопланов в виде полутонового изображения.
17. Осуществление 3D-видеомоделирования участков местности.
18. Получение документов в виде каталогов, таблиц, графиков и т. п.
19. Обмен массивами цифровой информации с внешними системами.

Состав АСК, как отмечалось выше, может изменяться в зависимости от запросов потребителей и характера решаемых на ней задач. Минимальный состав АСК

включает комплект ЭВМ с периферией на базе графической станции или персонального компьютера и устройство стереонаблюдения цифровых изображений. В таком составе возможно выполнять первые 12 видов работ. Для составления и обновления графических оригиналов карт дополнительно необходимы дигитайзер и картографический сканер, а для получения ортофотопланов – фотосканер среднего разрешения и устройство вывода полутоновых изображений (фоторегистратор). С другой стороны, устройства подсистем I, II, V, как правило, могут обеспечивать работу нескольких систем III и IV; так, например, один сканер в среднем может обеспечить цифровой информацией до пяти рабочих станции (III).

Технические параметры функциональных подсистем АСК определяются требованиями, предъявляемыми при выполнении комплекса камеральных работ, связанных с фотограмметрической обработкой материалов фотосъемки, цифрованием карт, обработкой цифровой картографической информации и получением конечной продукции в виде электронной карты или картографического документа на твердом носителе. Эти требования должны учитывать характеристики исходных данных, выходной продукции, объем работ и время, затрачиваемое на их выполнение.

Исходя из состава подсистем, входящих в АСК, ее эффективность можно определить как

$$Q_{\text{сист}} = \prod_{i=1}^N Q_i, \quad (9)$$

где Q_i – эффективность i -й подсистемы; N – общее число подсистем, входящих в систему.

Центральное место среди подсистем АСК занимает подсистема ЦФС, которая в ряде модификаций системы может объединять и функции подсистемы СКС. Свойства согласно критерию 1 определяют ее эффективность, от которой в свою очередь в значительной степени зависит и эффективность системы АСК в целом.

Остановимся подробнее на оценке эффективности одной из наиболее важных подсистем ЦФС. К числу основных свойств, определяющих эффективность подсистемы ЦФС с точки зрения их технических возможностей, можно отнести:

- точность съемки рельефа со стереоснимков и его отображения;
- точность ортотрансформирования снимков;
- полнота восприятия преобразования и интерпретации изоинформации в подсистеме;
- производительность;
- надежность;
- эксплуатационные параметры.

Для оценки перечисленных выше свойств воспользуемся введенным критерием (1). Тогда первое из этих свойств будет характеризоваться величиной, определяемой по формуле:

$$\eta_h = \frac{\sigma_{nh} - \sigma_{\varphi h}}{\sigma_{nh} + \sigma_{\varphi h}}, \quad (10)$$

где σ_{nh} – пороговое значение величин среднего квадратического отклонения, накладываемого на воспроизведение рельефа при стереофотограмметрической обработке и отображении истинного значения (h);

$\sigma_{\phi h}$ – фактическая величина средней квадратической ошибки, возникающая при определении высот точек местности в рассматриваемой системе (ЦФС).

Чтобы свойство системы, характеризующее точность отображения рельефа, не исключало возможности использования оцениваемой системы по назначению, исходя из формулы (10) следует:

$$\sigma_{nh} > \sigma_{\phi h}.$$

Выражения для оценки точности ортотрансформирования изображения по координатам x и y на основании формулы (1) представляются в виде

$$\eta_{rx} = \frac{\sigma_{nx} - \sigma_{\phi x}}{\sigma_{nx} + \sigma_{\phi x}}, \quad \eta_{ry} = \frac{\sigma_{ny} - \sigma_{\phi y}}{\sigma_{ny} + \sigma_{\phi y}},$$

где σ_{nx} , σ_{ny} – пороговые значения величин среднего квадратического отклонения соответственно координатам x и y точек ортотрансформированных изображений от их истинных значений;

$\sigma_{\phi x}$, $\sigma_{\phi y}$ – средние квадратические ошибки ортотрансформирования, непосредственно получаемые при обработке конкретных изображений в оцениваемой системе.

Плановое смещение координат точек на ортотрансформированном изображении от истинного значения можно также определить и величиной

$$\sigma_{\phi l} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_{li}^2 + \Delta y_{li}^2)}{n-1}},$$

где Δx_{li} , Δy_{li} – смещение координат точек ортотрансформированного изображения от их истинных значений соответственно вдоль осей x и y . Тогда оценка точности ортотрансформирования в ЦФС будет характеризоваться по формуле

$$\eta_l = \frac{\sigma_{nl} - \sigma_{\phi l}}{\sigma_{nl} + \sigma_{\phi l}},$$

где σ_{nl} , $\sigma_{\phi l}$ – соответственно пороговые и фактические среднеквадратические ошибки ортотрансформирования, причем $\sigma_{nl} \geq \sigma_{\phi l}$.

Производительность ЦФС определяется временем, которое затрачивается на весь процесс ортотрансформирования. В свете этого выражение для оценки производительности системы по аналогии с критерием (5) запишется в виде

$$\eta_{np} = \frac{T_n - T_{\phi}}{T_n + T_{\phi}},$$

где T_n – пороговое значение времени, затрачиваемого на полную обработку стереопары, которое определяется из условия $T_n > T_{\phi}$;

T_{ϕ} – время, которое фактически затрачивается на обработку стереопары в оцениваемой системе.

Наиболее сложным для оценки свойств системы является полнота восприятия, преобразования и интерпретации изоинформации (ПИ). Под оценкой ПИ будем понимать способность системы с определенной мерой достоверности обеспечивать отображение информации, содержащейся в исходном изображении в процессе пространственного моделирования, обработки и воспроизведения изображения.

Искажение информации, приводящее к потере ее достоверности в подсистеме ЦФС, происходит и на этапе ввода изображений снимков и карт в ЭВМ, и на этапе цифровой стереофотограмметрической обработки изображений в процессе построения цифровой модели местности (ЦММ), и на этапе воспроизведения ортотрансформированного изображения как в электронном виде, так и на твердую основу. В связи с тем что большинство источников искажения информации носит случайный характер, за меру достоверности получаемой на каждом этапе обработки и интерпретации информации можно принять критерий аналогичный (2).

$$\gamma_i = P \{ \|\Delta_i\| < \delta \},$$

определяющую вероятность события, при котором норма $\|\Delta_i\|$ служит для задания меры неадекватности между истинным состоянием объекта, характеризуемым вектором состояния и получаемым на данный момент при реализации поставленной цели (например, построение цифровой модели рельефа). Исходя из формулы (3), введем комплексную оценку потерь информации в ЦФС:

$$H_c = - \sum_{i=1}^r P_i \log_2(\gamma_i + 1)^{-1},$$

где P_i – вероятность появления искажения информации на i -м этапе ее обработки; r – общее число этапов, связанных с обработкой изоинформации.

Для оценки свойства ПИ можно применить критерий (4). В результате получим

$$\eta_{ин} = \begin{cases} \frac{H_n - H_c}{H_n + H_c}, & \text{при } H_n > H_c \\ 0, & \text{при } H_n \leq H_c \end{cases},$$

Для количественной оценки эксплуатационных возможностей (ЭВ) системы введем балльный критерий, определяемый следующим образом.

$$Q_{ЭВ} = \prod_{i=1}^G \eta_i^{(1-q_i)},$$

где G – число параметров, описывающих эксплуатационные возможности системы. В качестве таких параметров, например, могут выступать такие характеристики системы, как удобство интерфейса, быстрота и простота ее освоения или степень ее открытости с точки зрения расширения функциональных возможностей рассматриваемой системы за счет создания собственного прикладного математического обеспечения; q_i – показатель важности i -го эксплуатационного параметра, удовлетворяющий условию $0 \leq q_i \leq 1$ и определяемый как отношение весомости i -го параметра к значению максимальной весомости среди всех эксплуатационных

параметров; η_i – балльность i -го параметра, определяемая в результате экспертной оценки по балльной числовой шкале. Как правило, балльная шкала представляет собой набор целых чисел (a_0, a_1, \dots, a_k) , расположенных в порядке их возрастных с равномерным шагом. Естественно, более высокому качеству рассматриваемого свойства должен соответствовать и более высокий балл, выбираемый из введенной шкалы в результате проведенной экспертизы.

Оценку стоимости ЦФС, складывающуюся из ряда показателей прямых и косвенных затрат, среди которых можно выделить следующие:

- непосредственная стоимость приобретаемых средств (включая техническое и математическое обеспечение системы);
- затраты, идущие на установку оборудования и обучение персонала;
- эксплуатационные расходы;
- затраты, связанные с необходимостью в дальнейшем расширения и частичного обновления приобретаемых средств, выполнить по критерию

$$Q_{cm} = \frac{C_n - C_\phi}{C_n + C_\phi},$$

где C_n – пороговая стоимость системы, а C_ϕ – фактическая стоимость системы.

Введенные выше частичные критерии оценки ЦФС позволяют определить эффективность ЦФС в целом по формуле

$$Q = Q_T^{1 P_T} Q_{ЭВ}^{1 P_{ЭВ}} Q_{cm}^{1 P_{cm}},$$

где Q_T – величина, описывающая техническую эффективность системы и определяемая как

$$Q_m = \eta_h^{1 P_h} \eta_m^{1 P_m} \eta_n^{1 P_n} \eta_{III}^{1 P_{III}},$$

где $P_{ЭВ}$, P_{cm} – весовые коэффициенты, характеризующие влияние соответствующих показателей при проектировании или выборе для эксплуатации систем типа ЦФС.

Подобный подход может быть положен в основу оценки эффективности и других подсистем ГИС.

2.3. Системы сбора геопространственных данных

Основными источниками информации для сбора пространственно-временных данных ГИС являются карты, геодезические измерения, данные дистанционного зондирования, документальные архивы, Интернет, БД и другие источники.

Глобальный уровень сбора информации может, например, обеспечиваться космическими дистанционными средствами зондирования (ДЗ) (съемок) поверхности Земли и атмосферы. Масштаб таких съемок составляет порядка от $1 : 5 \cdot 10^5$ до $1 : 10^7$, точность определения координат снимаемых объектов в плане – около 1000 м, а по высоте от нескольких десятков метров до 100 м. Основное использование результатов рассматриваемых съемок состоит в изучении климата планеты, распространения на ней видов растений и животных, глобальных геологических и геоморфологических исследований, а также контроля за состоянием атмосферы.

Для отмеченных целей, как указывалось выше, целесообразно использовать съемку с космических аппаратов с установленными на них системами зондирования, обеспечивающими как съемку в радиодиапазоне частот, так и в видимом и инфракрасном. В основном информация, получаемая глобальными системами сбора, не требует ее оперативной обработки и высокой повторяемости (это, естественно, не относится к таким катастрофическим явлениям, как лесные пожары, наводнения и др.), так как она служит для моделирования эволюционных процессов.

В том случае, когда процессы носят эволюционный характер, информацию о них целесообразно держать, кроме цифровой формы представления, также и в виде картографического графического документа. Кроме того, для создания математических моделей таких процессов необходимо использовать уже накопившуюся информацию об этих процессах в предыдущие периоды (например, даже десятки и сотни лет назад) и, скорее всего, представленную в виде различных картографических материалов.

Региональный уровень сбора информации является наиболее распространенным и весьма востребованным. Масштаб съемок при этом распространяется от 1 : 500 000 до 1 : 50 000, точность определения координат точек снимаемых объектов составляет в плане от нескольких сот до десятков метров, а по высоте около десятка метров. Периодичность сбора информации в зависимости от изменчивости измеряемых факторов может существенно меняться от нескольких дней до нескольких лет. В качестве технических средств для сбора региональной информации могут использоваться как космические, так и самолетные носители с размещенными на них различными по диапазону длин волн съемочными системами.

Для оперативного наблюдения и отображения быстро изменяющихся динамических процессов в качестве дистанционных регистраторов используются сканирующие съемочные системы с передачей регистрирующей информации с борта носителя на Землю по телеметрическим каналам. К таким динамическим процессам можно, например, отнести обнаружение и наблюдение за распространением вредных выбросов в атмосферу и на водную поверхность.

Естественно, необходимость в создании традиционных графических картографических документов для таких процессов отпадает, достаточно иметь набор цифровых данных об этих процессах с возможностью оперативного отображения их в графическом виде на экране дисплея цифровых картографических систем (ЦКС).

В качестве примеров динамических природных объектов с медленным изменением их состояния, наблюдение за которыми возлагается на региональные системы сбора информации, можно привести изучение вулканических форм рельефа, региональное изучение таких геоморфологических процессов, как дельты, сети долин, морены.

Особое значение приобретает сбор информации на региональном уровне, связанный с нарушением природной среды из-за антропогенных воздействий на природную среду таких крупных промышленных сооружений, как, например, сооружение и эксплуатация продуктопроводов, гидротехнических систем, освоение

полезных ископаемых. В основном эти нарушения (изменения), если нет катастрофических ситуаций, носят эволюционный характер, поэтому эти процессы кроме цифрового представления могут подлежать и графическому отображению в виде традиционных тематических карт.

Геопространственная информация на региональном уровне используется для создания топографических карт и управления территориями.

Следующий уровень сбора информации – локальный. Диапазон масштаба съемок для данного уровня достаточно широк: от нескольких сот метров до нескольких десятков километров на сантиметр карты. Точность определения координат объекта съемки должна быть в плане порядка нескольких метров, а по высоте в зависимости от цели решаемых задач составлять от нескольких сантиметров до нескольких метров. Информация, получаемая по материалам локальной съемки, как правило, весьма переменчива и требует как ее оперативной обработки, так и интерпретации. Исходя из указанного, для локального сбора информации используются как наземные геодезические средства измерения, так и дистанционные средства постоянного наблюдения. В качестве носителей средств дистанционного наблюдения обычно применяется авиационная техника (вертолеты, малая авиация, воздушные шары-зонды, аэростаты и т. д.) с установленными на ней сканирующими системами сбора и передачи информации.

В последнее время стали активно использоваться для локального сбора информации научные платформы (НП) и приборы, непосредственно расположенные на объектах исследования с оперативными средствами передачи информации, включая и свое местоположение, по телеметрическим каналам через авиационные или космические (спутник) средства. В качестве примера такой действующей системы можно привести спутниковую систему сбора, передачи и обработки данных от научных платформ ARGOS, разработанную национальным центром Франции по исследованию из космоса для анализа окружающей среды: океанологии, метеорологии, вулканологии, гляциологии. Источниками информации в этой системе являются датчики физических параметров среды (давления, температуры, солености воды и др.), которые могут представлять собой морские радиобуи, воздушные шары или неподвижные станции. Информация через эту систему передается потребителю через несколько часов после получения ее датчиком НП.

Таким образом, информация, собираемая на локальном уровне, в большинстве случаев требует представления в цифровой форме, а результаты ее анализа должны быть оперативно интерпретированы либо в виде специальных электронных карт на экране дисплея, либо в виде экранных или печатных таблиц. Локальный уровень сбора геоанных особенно важен для решения задач кадастра и муниципального управления.

Кроме дистанционных методов сбора информации существуют и другие методы, средства и виды ее сбора. Одним из таких важных средств является использование цифровых картографических материалов (ЦК). Топографические карты служат топографической основой при создании экологических и других тематических

и природоохранных картографических документов (как цифровых, так и графических). По картографическим данным может быть получена априорная оценка факторов еще на этапе планирования для данной территории проведения каких-либо социально-экономических мероприятий или создания технических сооружений. Кроме того, наблюдение за развитием какого-либо из факторов по материалам временного ряда (набора) картографического материала в результате экстраполяции помогает сделать прогноз о его поведении в дальнейшем.

Основной вид представления картографической информации, безусловно, должен быть цифровой. Это вызвано следующими причинами.

Во-первых, проведение анализа обстановки, обработка информации из различных источников, имеющей разнообразные формы и требующей ее точного сопоставления и привязки с картой, является крайне сложной и трудоемкой проблемой, решение которой возможно только на достаточно производительных современных вычислительных системах.

Во-вторых, передача данных дистанционного зондирования и с НП производится или по телеметрическим (чаще всего цифровым) каналам, или с магнитных цифровых носителей, установленных на борту съемочной аппаратуры.

И наконец, в-третьих, интерпретация различных факторов должна быть в большинстве случаев оперативной.

Однако наличие ЦК или возможность вызовов в любой момент электронной карты на экран дисплея ЭВМ не исключает необходимости иметь в ряде случаев и традиционные графические картографические материалы на твердой основе. Например, для длительного, архивного хранения картографической информации, независимо от времени ее получения, вряд ли возможно использовать только магнитные носители.

Кроме дистанционных средств сбора информации для функционирования ГИС, как отмечалось выше, необходима и соответствующая картографическая информация (КИ), которая в конечном виде должна быть представлена в цифровой форме. Основным назначением картографической информации в системе ГИС является:

- 1) получение по ней данных для расчета значений и априорных экспертных оценок состояния исследуемой территории с учетом как ее естественного природного развития, так и возможных антропогенных воздействий, которые могли бы возникнуть, например, при планировании размещения и эксплуатации на ней технических сооружений;
- 2) осуществление прогнозирования состояния заданного района земного шара по существующей как на его территории, так и на других территориях природных районов-аналогов текущей и архивной КИ.

Основу любой КИ, которая будет использоваться для решения перечисленных выше задач, должны составлять топографические карты, по которым осуществляется привязка различных данных и получение информации о рельефе местности, и другие данные. Однако состав КИ, необходимый для решения тематических задач, как правило, должен содержать и данные, которые отсутствуют на топографических картах или не присутствуют на ней в явном виде. Поэтому наряду с топо-

графическими картами должны использоваться и тематические природные карты, а также специальные картографические данные, представленные в виде набора таблиц, графиков и являющиеся или результатом инженерно-геологических, геофизических изысканий, или санитарно-социальных обследований и др.

В связи с тем что обе перечисленные выше задачи являются многофакторными, решение которых представляет собой в общем случае крайне сложную проблему, их практическая реализация возможна только в интерактивном режиме на специальной производительной вычислительной системе.

Весьма важным источником геопространственной информации служат природные полигоны, одним из видов которых являются и природные заповедники. Назначение природных полигонов достаточно разнообразно. В одних случаях их можно использовать в качестве эталонных природных участков некоторых видов природных объектов (ПО), за которыми производится наблюдение одновременно с наблюдением за подобными же видами ПО, расположенных в районах, подлежащих, например, экологическому контролю. В других случаях природные полигоны служат для размещения (например, высаживания) специальных ПО-индикаторов, по состоянию которых можно судить о протекании физических процессов и природных явлений в данном регионе.

Большинство источников информации взаимосвязаны между собой. Так, информация с природных полигонов может передаваться непосредственно через дистанционные средства зондирования. Аналогично для обновления ЦК широко используются материалы аэрофотогеодезической съемки. С другой стороны, для привязки геофизических данных могут быть использованы ЦК.

Огромный объем данных, который получается с подсистемы сбора информации, требует своей обработки прежде всего для решения основной задачи, поставленной вначале.

Одновременно решение этих вопросов связано и с необходимостью ответа и на такие вопросы, как выбор наиболее рациональной съемки для сбора информации. Важность его определяется теми высокими материальными затратами, которыми, как правило, сопровождаются аэрокосмические съемки. Кроме того, при переходе к рыночной экономике существенным становится и учет конкурентной борьбы между различными ведомствами за получение заказа на проведение этих съемочных работ. Подобные ведомственные интересы могут возникнуть и при проведении природоохранных мероприятий или при планировании социально-экономического развития региона.

Все это вызывает необходимость в разработке специальной автоматизированной системы, позволяющей на основе современных информационных технологий обеспечивать интерактивную обработку поступающей от различных источников как топографической, так и тематической информации в достаточно сжатые сроки с выдачей обновленных картографических материалов (графического, электронного и цифрового видов), а также результатов оценок текущего и прогнозного состояния региона на заданный период времени.

2.4. Системы представления картографических данных в ГИС

Как отмечалось в предыдущем параграфе, важную роль в функционировании ГИС играет картографическая информация. Причем на начальном этапе развития геоинформационных технологий источником исходной информации в ГИС являлись карты на бумажной основе, а выходным продуктом – электронная карта.

Карта – это генерализованная модель поверхности Земли или другого небесного тела, показывающая расположенные или спроецированные на них объекты в принятой системе условных знаков.

Назначение карт оказывает существенное влияние на выбор их масштаба, содержания и способа оформления.

Наиболее часто встречающимися видами карт являются:

- общегеографические карты – карты поверхности Земли, характеризующие ее внешний облик, слагающийся прежде всего из визуально различных элементов ландшафта. Наиболее точными, подробными общегеографическими картами являются топографические карты;
- тематические карты – средство изображения географических явлений, таких как: плотность населения, климат, товарные потоки, использование земель и т. п.

Кроме этого, существуют и другие виды карт: астрономические, рельефные, научно-технические, социально-экономические, морские и др.

«Цифровая модель местности (ЦММ) – модель земной поверхности или ее элементов (объектов и явлений), их существенных признаков и взаимосвязей, подлежащих отображению на карте, представленная в цифровой форме в определенной системе координат» (ГОСТ 28441-90).

«Цифровая карта (ЦК) – это цифровая модель местности, записанная на машинном носителе в установленных структурах и кодах, сформированная с учетом законов картографической генерализации в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот по точности и содержанию соответствующая карте определенного масштаба» (ГОСТ 28441-90).

Электронная карта (ЭК) – это векторная или растровая карта, сформированная на машинном носителе (например, на оптическом диске) с использованием программных и технических средств в принятой проекции, системе координат и высот, условных знаках, предназначенная для отображения, анализа и моделирования, а также решения информационных и расчетных задач по данным о местности и обстановке.

На практике оба эти понятия часто смешивают. Термины «цифровая карта» и «цифровая модель местности» появились в 1980-х гг. в связи с необходимостью цифрования рельефа для наведения управляемых баллистических и крылатых ракет на цель. При этом визуализации цифровой модели не требовалось. Она предназначалась только для получения координат цели на бортовой ЭВМ. Этот вид ЦК является типичным примером, когда ЦК существует, а ЭК – нет. Позднее для управления полетами и моделирования понадобилась визуализация ЦК на мониторе, что и соответствовало понятию ЭК. Но бывают случаи, когда ЭК существует, а ЦК – нет. Примером подобных ЭК является видеокарта, которую мы каждый день видим при передаче по телевизору прогноза погоды.

2.5. Форматы геопространственных данных

Ввод данных с карт осуществляется посредством устройства ввода графической информации с ручным обводом и автоматическим съемом координат, черно-белых и цветных сканеров и со стандартных устройств ввода информации в ЭВМ.

Программы цифрования должны обеспечивать векторизацию исходных графических данных, редактирование векторизованных данных, фильтрацию и сжатие исходной информации, конвертирование данных в требуемые форматы.

Для ввода данных с картографического материала можно предложить следующую технологическую последовательность.

1. Составление проекта проведения работ.

На данном этапе разрабатывается предварительный план проведения работ, предъявляются требования по точности, формулируется четкое представление о конечном результате.

Определяют тематические слои графических данных. Библиотека типов объектов создается средствами программы. Каждый тип характеризуется атрибутами отображения (цвет, тип, толщина линии).

2. Сканирование исходного материала.

Ввод данных осуществляется при помощи сканера. Обычно используются сканеры форматов А0–А4. Перед сканированием карта разбивается на блоки. Сканирование может быть произведено в черно-белом и цветном режимах. В черно-белом режиме участки карты сканируются со следующими разрешающими способностями: 200, 300, 400 и 600 точек на дюйм. В цветном режиме участки карты сканируются с разрешающими способностями 200 и 300 точек на дюйм. Цветные растровые данные имеют ряд недостатков. Это большой размер файла, нечеткое изображение; кроме этого, цветность вызывает трудности в различии оцифрованных и неоцифрованных объектов. При цифровании черно-белых изображений наблюдаются потери подробности, особенно гидрографии и границ растительности. Изображения 300 и 400 точек на дюйм достаточно качественные, хотя имеют эпизодические мелкие разрывы линейных элементов. Изображения 600 точек на дюйм являются более детальными, однако имеют посторонние оптические шумы и пятна. На таких изображениях довольно трудно различаются элементы, находящиеся в фоновых участках карты (лес, река, кварталы).

Результатом сканирования является цифровая карта в одном из известных форматов: PCX, TIFF, PNG и др. Обзор растровых цифровых форматов дан в разделе 4.2.3 этой книги.

3. Векторизация сканерных изображений.

Растровые цифровые форматы могут использоваться для создания справочных ГИС. Однако для создания объектно-ориентированных ГИС необходимо произвести распознавание объектов на цифровой карте и перейти к векторному представлению объектов.

Векторизация растрового изображения может производиться в одном из графических редакторов, имеющихся в ГИС: Ease Trace, MicroStation, Intergraph Mapping Office (MGE-PC, I/GEOVEC, I/RASB), Mapinfo Professional, WINGIS, AutoCAD, AutoMap, MACROMEDIA FreeHand и др.

Кратко опишем характеристики некоторых из них. При использовании векторизатора Ease Trace готовые файлы должны иметь формат РСХ и удовлетворять следующим требованиям: иметь разрешение 100–150 dpi (точек на дюйм), а для автоматического сканирования 200 dpi; размер исходного картографического материала может иметь размер до А1 (сканирование осуществляется в черно-белом цвете).

Программа Ease Trace состоит из двух подпрограмм: создание и редактирование раstra; векторизация и заполнение базы данных.

Программа позволяет рисовать линии, линии под прямым углом, точки, прямоугольники.

Фрагмент растровой электронной карты вводится в первую подпрограмму и создается проект. Для этого создается слой и база данных. Далее скальвается точка, вызывается база данных и заносится в нее информация (код объекта и т. п.).

Векторизация при помощи программного обеспечения MicroStation осуществляется в несколько этапов. При помощи модуля I/RASB очищаются шумы, производится трансформация изображения и задаются координаты. Модуль I/GEOVEC производит полуавтоматическую оцифровку изображения. Результат записывается в файл с расширением dgn. Этот файл при помощи универсального транслятора Mapinfo может быть преобразован в формат Mapinfo (файлы с расширениями tab и map) или с Export в формат AutoCAD (файл с расширением dwg).

Оцифровка географической сетки осуществляется в отдельном слое. Точки ставятся только на пересечениях долгот с широтами. Всякие линии сетки векторизуются только в случае выхода поля карты за пределы замкнутых квадратов сетки, т. е. когда цифруются фрагменты карты за пределами замкнутых квадратов сетки.

Векторизация линейных объектов осуществляется в отдельных слоях по типу (например, река, дорога и т. п.) и с привязкой к однородным или однородно-ассоциативным объектам. Например: отрезки географической сетки привязываются к сетке, реки – к рекам и озерам, разломы – к разломам и геологическим полям и т. д. Таким образом, оцифровка должна вестись топографически грамотно.

Точечные объекты цифруются в соответствии с рабочей легендой.

Для векторизации используют операции графического редактора. С его помощью можно выполнять выбор слоя, привязку точки, рисование точек, линий.

При векторизации посредством программы MACROMEDIA FreeHand используется цифровая карта в виде растровых монохромных файлов формата TIFF ориентации, соответствующей выбранной проекции.

До начала векторизации планшеты подвергаются редакторской подготовке. На ксерокопиях топографических карт либо на кальке или пластике должна быть «поднята» тематическая нагрузка согласно категориям. Могут быть отмечены участки, порядок векторизации которых не очевиден, особенности генерализации различных объектов и пр.

Перед началом векторизации планшет с помощью направляющих разбивается на прямоугольные участки. Векторизация производится в полном объеме в пределах одного участка.

Работы проводятся в два этапа. На первом выполняется векторизация топографической основы с привлечением всех доступных материалов с целью возможного обновления и точного отождествления нагрузки карты, а также материалов предварительной редакционной подготовки. После создания основы переходим ко второму этапу – нанесению текстовой части и тематической нагрузки.

Картография как специфическое средство моделирования пространственно-временных систем со свойствами «наглядности, визуализации и геометрического представления» обеспечивает удобство и эффективность карт для создания БД. Это обусловлено главными отличительными свойствами карт – привязкой и отображением информации без пропусков. Особую роль для ГИС имеют фотокарты как источники объективной реальности. Применение фотокарт в качестве источников данных является, по сути, непосредственным использованием цифровых моделей местности, создаваемых при фотограмметрической обработке данных ДЗЗ.

Особую роль при создании ГИС имеют серии карт и атласов, где сведения передаются в единообразной систематизированной, взаимосогласованной форме (по проекции, масштабу, степени генерализации, современности, достоверности и прочим параметрам).

Есть много видов форм и форматов представления цифровых топографических карт (ЦТК). Формат представления цифровых топографических карт – совокупность правил и предписаний, определяющих последовательность и размеры записи данных обо всех объектах цифровых топографических карт на носителях данных и регламентирующих использование этих записей. Обменный формат цифровых топографических карт – формат представления цифровых топографических карт, используемый при их передаче между предприятиями Роскартографии и при выдаче пользователям этих данных. Логическая структура обменного формата – свод общих правил, определяющих последовательность и размеры записи данных в зависимости от их содержания.

Физическая структура обменного формата – реализация принятой логической структуры с помощью технических и информационно-программных средств.

Программное обеспечение поддержки обменного формата – совокупность программных средств, позволяющих использовать формат широкому кругу пользователей и для широкого класса задач.

Форма представления цифровой топографической карты – способ представления, принятый для записи информации о местности, содержащейся на топографической карте, в цифровом виде.

Растровая форма представления (растровое представление) цифровой топографической карты – форма представления в виде прямоугольной сетки элементов (пикселов), каждый из которых кодируется числом, характеризующим яркость изображения соответствующей точки изображения.

Полутонная растровая форма представления цифровой топографической карты – растровая форма представления, в которой каждый пиксел кодируется числом, характеризующим яркость черного цвета соответствующей точки изображения.

Бинарная растровая форма представления цифровой топографической карты – полутоновая форма представления, в которой каждый пиксел кодируется числом, принимающим только два значения – 0 или 1.

Цветная растровая форма представления цифровой топографической карты – растровая форма представления, в которой каждый пиксел кодируется набором чисел, характеризующим яркость некоторых выбранных цветов соответствующей точки изображения.

Сжатая растровая форма представления цифровой топографической карты – растровая форма представления, объем которой сокращен с помощью специальных методов.

Примитив – структурная единица метрики объекта цифровой топографической карты, соответствующая точке, отрезку ломаной или кривой линии, узлу пересечения линий и т. п., плановое положение которой описано набором координат точек.

Линейно-контурная форма представления цифровой топографической карты – форма представления в виде примитивов, повторяющих границы или осевые линии элементов картографического изображения.

Матричная форма представления цифровой топографической карты – форма представления, в которой информация описывается в виде числовых характеристик, отнесенных к узлам прямоугольной сетки.

Векторная форма представления цифровой топографической карты – форма представления, в которой метрика описана в виде примитивов или комплексов примитивов.

Объектно-ориентированная форма представления цифровой топографической карты – векторная форма представления, структурными единицами информации которой являются объекты цифровой топографической карты.

Цепочно-узловая форма представления цифровой топографической карты – векторная форма представления, в которой учитываются геометрические и топологические отношения между объектами и образующими их элементами (дугами и узлами).

Цифровое описание объекта цифровой топографической карты – формализованное представление в цифровом виде данных об объекте топографической карты, которое включает в себя цифровое описание пространственного распространения объекта (метрика объекта цифровой топографической карты), его смыслового содержания (семантика объекта цифровой топографической карты) и пространственно-логические связи объекта с другими объектами данного номенклатурного листа топографической карты.

Цифровая карта должна содержать раздел, в котором описываются общие характеристики цифровой карты. В эти характеристики входят:

- требования к содержанию и структуре цифрового описания картографической информации в составе цифровых топографических карт;
- правила цифрового описания картографической информации.

Основными требованиями, которым должно удовлетворять цифровое описание картографической информации, являются:

- обеспечение возможности представления в цифровой форме любой информации, содержащейся на топографических картах соответствующих масштабов;
- включение в цифровое описание объектов ЦТК данных как об их местоположении и плане очертании, так и о смысловом содержании с точностью и полнотой, соответствующей требованиям;
- реализация представления объектов в объектно-ориентированной форме;
- обеспечение однозначности интерпретации цифровой картографической информации при ее обработке;
- обеспечение возможности автоматического формирования машинных записей объектов, предусмотренных структурой и составом ЦТК.

Цифровое описание картографической информации должно формироваться с использованием правил, объединенных в следующие группы:

- правила определения характера локализации объектов ЦТК;
- правила представления метрики объектов ЦТК;
- правила представления семантики объектов ЦТК;
- правила цифрового описания пространственно-логических связей объектов ЦТК.

В соответствии с определением объекта ЦТК допускается включение в состав цифровых топографических карт ЦКИ, обусловленной особенностями ее отображения в графической форме. Однако вышеуказанная информация должна быть представлена в качестве объектов ЦТК.

Объекты ЦТК должны описываться с учетом следующих основных параметров: характер локализации, сложность формирования цифрового описания и характер ориентирования относительно системы координат.

Характер локализации предусматривает такие объекты ЦТК, как дискретные, линейные, площадные и подписи. Характер локализации дискретных, линейных и площадных объектов ЦТК определяется на основе размеров описываемых объектов и масштаба создаваемой цифровой топографической карты. Правила предусматривают, что объектами ЦТК – «подпись» могут быть только имена собственные объектов, границы которых невозможно уверенно определить на местности. Специфическим объектом ЦТК является его паспорт, содержащий набор метаданных, которые характеризуют информацию в границах номенклатурного листа ЦТК в целом.

Возможность формирования простых и сложных, а также стандартно и нестандартно ориентированных объектов ЦТК определяется в значительной степени генетической связью между традиционной и цифровой формами описания картографической информации. Вместе с тем она отражает тот факт, что информация будет использована не только для решения аналитических задач, но и для визуализации результатов анализа, где способы отображения должны иметь информационную поддержку.

Цифровое описание каждого объекта ЦТК в обязательном порядке должно включать его номер, идентификатор, метрику и семантику. В цифровом описании объектов ЦТК могут присутствовать данные о пространственно-логических связях.

Правила представления объектов цифровых топографических карт предусматривают, что метрика объекта ЦТК должна описываться координатами точек в заданной системе координат, определяющими его местоположение и плановые очертания с точностью, которая удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ЦТК соответствующего масштаба.

Метрика дискретного объекта ЦТК должна содержать:

- у дискретного стандартно ориентированного объекта – координаты точки местоположения центра объекта;
- у дискретного нестандартно ориентированного объекта – координаты двух точек, совместно задающих направление, одна из которых определяет местоположение центра объекта, другая – ориентацию объекта.

Метрика линейного объекта ЦТК должна быть представлена массивом координат точек, расположенных на осевой линии объекта по всей его длине. Формирование массива должно обеспечивать возможность описания:

- криволинейных объектов – точками, плотность которых обеспечивает сохранение извилистости линии при последующем воспроизведении объекта;
- объектов, состоящих из прямолинейных отрезков, – точками, фиксирующими вершины углов поворота ломаной линии.

Метрика площадного объекта должна быть представлена массивом координат точек, расположенных на линии границы объекта по всей ее длине, с обязательным замыканием контура.

Содержание массива координат точек площадного объекта ЦТК должно обеспечивать возможность формирования таких же вариантов описания метрики, как и для линейных объектов.

Метрика объекта ЦТК с характером локализации «подпись» должна быть представлена массивом координат точек, содержащим:

- у подписи стандартно ориентированной – координаты точки привязки начала подписи;
- у подписи нестандартно ориентированной и расположенной вдоль отрезка прямой или кривой линии – координаты двух и более точек линии.

Первая точка метрики объектов ЦТК с типом локализации «подпись» должна находиться на левом краю отрезка линии, вдоль которого располагается подпись.

Метрика объектов ЦТК должна обеспечивать метрическую согласованность всех объектов в пределах данного номенклатурного листа цифровой топографической карты (НЛ ЦТК) и по сводке со смежными НЛ. Для удовлетворения данного требования правила представления метрики объектов ЦТК должны предусматривать:

- наличие в метрике пересекающихся и стыкующихся объектов общей точки;
- наличие в метрике примыкающих объектов (линейных и площадных) общего участка;

- размещение первой и/или последней точки объекта на линии рамки при пересечении линейным объектом внутренней рамки НЛ ЦТК;
- размещение части границы площадного объекта на линии рамки в месте примыкания его к рамке НЛ ЦТК.

Правила представления метрики линейных объектов ЦТК предусматривают в качестве основного варианта выбора первой точки метрики – любую конечную точку.

Особыми случаями являются описания объектов:

- гидрографии (реки, ручьи), где первая точка выбирается с учетом направления – «от истока к устью»;
- рельефа естественного или искусственного происхождения (горизонтали, обрывы, овраги, карьеры и т. д.), где выбор первой точки метрики должен быть согласован с определением направления ската.

Положение начальной точки при описании границы площадных объектов ЦТК – произвольно. Исключения из этого правила должны быть описаны в соответствующей технологической документации.

Семантика объекта ЦТК должна описывать сущность и свойства объекта ЦТК и содержать:

- код объекта в соответствии с его наименованием по классификатору объектов;
- код характера локализации;
- цифровое описание характеристик объекта.

Цифровое описание характеристик объекта ЦТК должно содержать:

- код характеристики в соответствии с ее наименованием по классификатору объектов ЦТК;
- значение (при наличии);
- координаты точки (точек) привязки (при необходимости).

Значение характеристики, если в соответствии с классификатором объектов ЦТК характеристика имеет множество значений, должно соответствовать одному из следующих вариантов:

- для количественных характеристик – ее численное значение;
- для качественных характеристик – код соответствующего значения;
- для характеристик типа «имя собственное» – собственное имя объекта в текстовой форме.

Сложный объект ЦТК должен содержать семантику нескольких взаимосвязанных объектов, входящих в его состав.

Правила цифрового описания пространственно-логических связей объектов цифровых топографических карт требуют обеспечения топологически согласованного отображения картографических данных. Выполнение этого требования достигается либо метрической согласованностью объектов ЦТК, либо введением в цифровое описание семантики объектов специальных характеристик, определяющих отношения описываемого объекта с другими объектами.

Среди пространственно-логических отношений принято выделять: пересечение, примыкание, сопряжение, совмещение, вложение, эквидистантное соседство и смежность.

Пересечение: дорога идет через болото, электролиния проходит над дорогой и т. д. Пространственное фиксирование этого вида отношений объектов позволяет сократить объемы цифрования за счет исключения двойного отслеживания общего контура.

Примыкание: линейный объект имеет одну общую точку с другим объектом. Если примыкание разнотипных объектов составляет единый смысловой образ, то подобно ПЛО называют сопряжением. Например, «водный путь»: река – озеро – канал – море. Координатная привязка «примыкание» позволит быстро определять ошибки цифрования многих объектов программным путем.

Совмещение: пространственно-координатное описание одного объекта полностью совпадает с таким же описанием другого. В массивах цифровой картографической информации знание этого рода ПЛО обеспечивает возможность хранения одного цифрового контурного описания и ссылку на соответствующее ПЛО с другими объектами. ПЛО «совмещение» полностью исключает «раздваивание» границ совмещенных объектов, которое встречается весьма часто на картах и планах.

Вложение: внутри одного объекта находится объект другого типа. Знание этого рода ПЛО исключает двойное цифрование контуров.

Эквидистантное соседство: ПЛО двух объектов, равноудаленных друг от друга на определенное расстояние. Например, полосы растительности вдоль дорог. Знание этого рода ПЛО исключает необходимость цифрования одного из двух параллельных объектов.

Смежность: наличие на определенном участке общих граничных контурных точек двух объектов. Исключает необходимость двойного цифрования смежных контуров.

2.6. Структура и база данных ГИС

В ГИС кроме цифровой карты содержится также база данных (БД). БД ГИС являются по сути интегрированными и совместно используемыми хранилищами постоянных данных и становятся доступными для пользователей на этапах их создания и эксплуатации посредством системы управления базами данных (СУБД), определяемой как совокупность языковых и программных средств, необходимых для создания БД, поддержания ее в актуальном состоянии и организации поиска необходимой информации.

Широко известны понятия базы данных (БД) и системы управления базами данных (СУБД). На базе СУБД строятся разнообразные информационные и информационно-управляющие системы, используемые во всех отраслях человеческой деятельности. При этом соответствующие БД могут содержать в принципе любые данные, однако в большинстве случаев это данные алфавитно-цифровые (т. е. текст) либо числовые. Общепринятым является представление БД как вза-

имосвязанной совокупности таблиц. Каждая таблица состоит из строк (записей) и столбцов (полей). Каждая запись несет информацию о некотором объекте, каждое поле содержит значение некоторого свойства объекта. В простейшем случае вся БД состоит из одной таблицы. В качестве примера можно рассмотреть список сотрудников предприятия, где каждая строка содержит данные об одном сотруднике, а значениями полей являются фамилия, имя, возраст, должность, размер оклада и т. п. Подобного рода данные принято называть *атрибутивными* или *фактографическими*, или проще – *табличными*.

Основные операции, которые можно выполнять над атрибутивными данными, включают в себя поиск данных по различным запросам, упорядочение данных (например, по алфавиту), соединение взаимосвязанных данных из разных таблиц, вычисление суммарных значений, построение разнообразных отчетов. Кроме того, СУБД позволяет выполнять операции по созданию и модификации БД: добавление и удаление записей, редактирование (т. е. изменение значений) полей записи, изменение структуры записей (добавление и удаление полей и т. п.).

Обычные (атрибутивные) СУБД оказываются почти бесполезными для работы с таким специфическим видом данных, как графические (пространственные) объекты.

Графический объект (далее просто объект) характеризуется привязкой к некоторой системе координат (например, географических). Объект задается, как минимум, одной парой координат (X, Y), определяющей точку его местоположения. Кроме того, объект может иметь определенную форму и размеры, которые можно задать набором координат характерных точек.

Разумеется, координаты точек объектов можно считать атрибутивными данными и хранить в обычной БД. Однако такой подход не позволяет решать задачи, в которых важен именно пространственный характер объекта. Это, прежде всего, отображение объектов на экране или принтере, пространственный поиск (т. е. ответ на вопросы типа «Какие объекты расположены в данной точке?»), визуальное редактирование объектов, а также разнообразные задачи пространственного анализа.

База данных, спроектированная таким образом, чтобы хранить информацию о графических объектах, называется *геоинформационной базой данных (ГБД)*.

Основой понимания структуры и возможностей баз данных служит архитектура СУБД, предусматривающая рассмотрение структуры данных одновременно с нескольких позиций (уровней), отождествляемых с различными представлениями или моделями БД (рис. 4).

Внешний уровень отражает индивидуальные представления данных отдельными пользователями и может быть описан несколькими моделями БД, каждая из которых отражает абстрактное (логическое) представление определенной части БД одним из пользователей. *Внутренний уровень* близок к физическому представлению данных в памяти машины и описывает структуру файлов, в которых хранятся данные. *Концептуальный уровень* отражает общее представление пользователей в виде обобщенной модели реального мира или единого, абстрактного представления всей информации БД в целом.

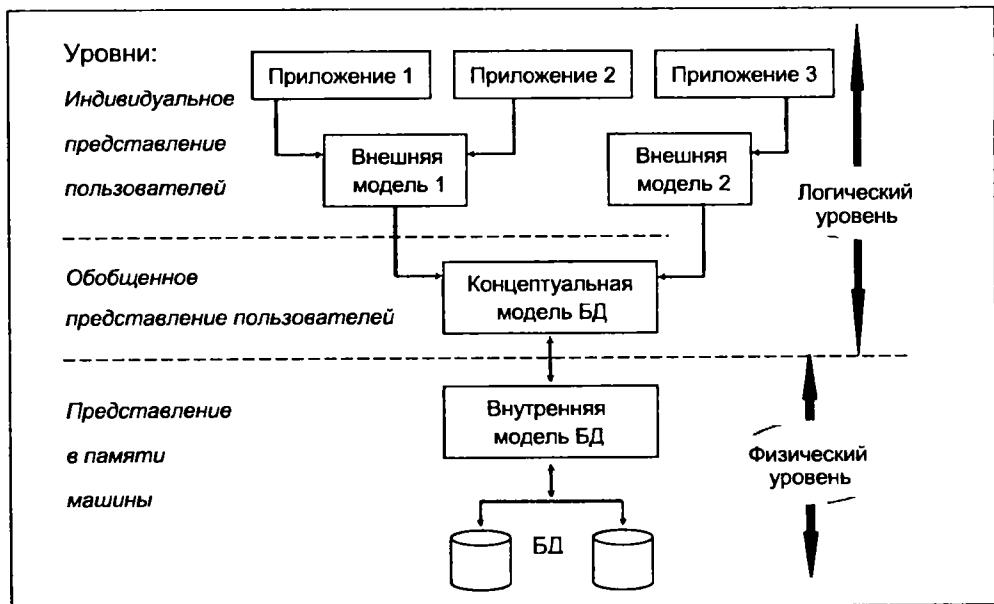


Рис. 4. Многоуровневое представление БД

К достоинствам СУБД следует отнести *относительную независимость* логической и физической структур данных (т. е. внешней и внутренней моделей) при неизменной концептуальной модели.

Классификация моделей разных уровней представления данных приведена на рис. 5. Кроме трехуровневой абстракции, присутствующей в архитектуре БД, здесь выделяется предшествующий ей инфологический уровень абстрагирования, связанный с описанием объектов в предметной области, – *инфологическая* (или *семантическая*) модель, которая в емком и легко читаемом (и понимаемом) виде отражает предметную область в виде совокупности информационных объектов и их структурных связей.

Группа даталогических моделей поддерживает уровень конкретной СУБД. Обобщенным выражением даталогических моделей является концептуальная модель, данные которой структурированы в соответствии с требованиями структуры БД.

Необходимость отображения в БД позиционных данных, формирующих графические образы пространственных объектов в среде ГИС, и ведущая роль картографических материалов в качестве их первичных источников обуславливают выбор векторной модели представления данных в качестве основной для разрабатываемой БД ГИС. Векторная модель обуславливает ее эффективность как на этапах сбора и хранения информации, так и при непосредственном осуществлении широкого комплекса пространственно-аналитических задач, решаемых в ГИС. Частичное использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ) обуславливает присутствие в БД ГИС и растровых моделей, обособляемых в отдельных

файлах (файлах данных ДДЗ), либо в виде их растровых слоев, пространственно увязанных со слоями картографических покрытий (векторно-растровое представление). Это позволяет совместно использовать графику (картографические изображения) и растр (трансформированные фотографические изображения), что особенно актуально при автоматизации составления карт, их обновлении, а также при создании различных производных карт и карт динамики, синтезирующих данные нескольких исходных карт, а также разновременных материалов ДДЗ.

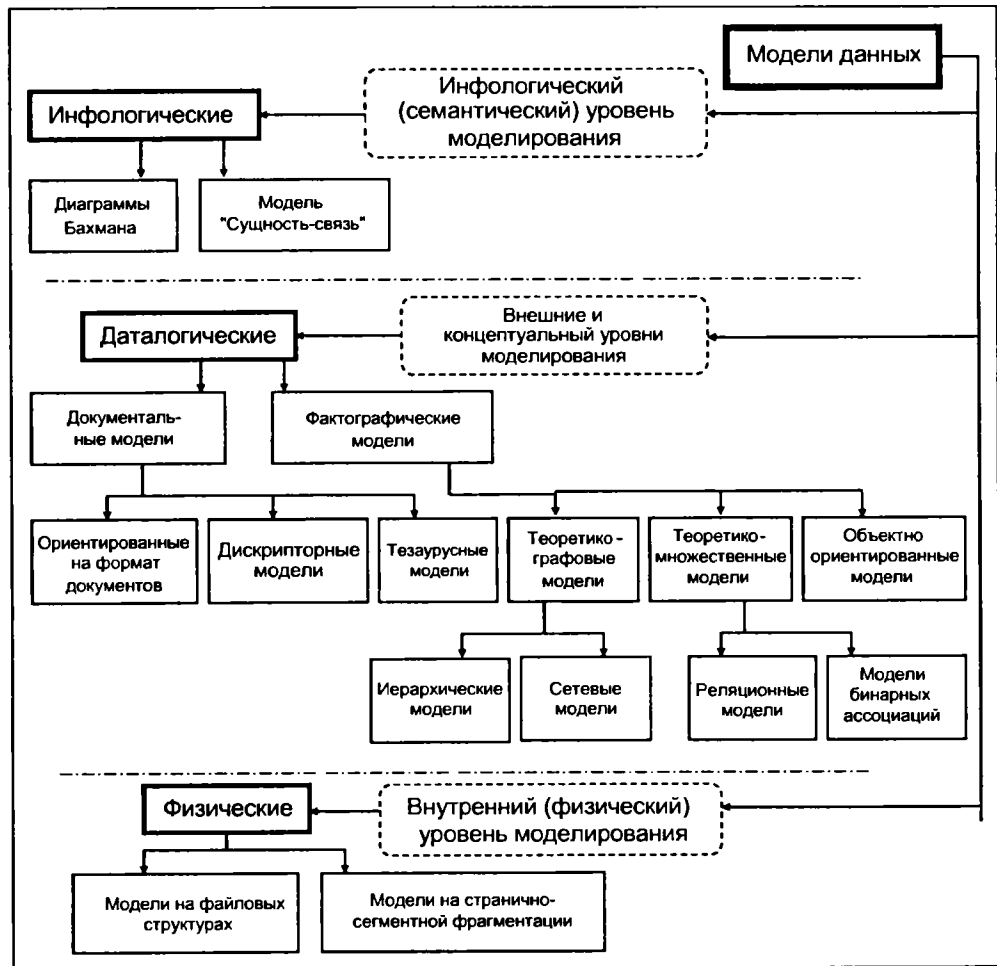


Рис. 5. Многоуровневая классификация моделей данных

Требования по соблюдению геометрической точности отображения геопространственных объектов и наличие многочисленных связей между их различными группами обуславливает необходимость применения в БД полной векторной топологической модели, предусматривающей обеспечение как геометрической, так

и топологической точности картографического покрытия. Именно такая модель обеспечивает решение с помощью ГИС измерительных и пространственно-аналитических задач, которые большей частью базируются на разнообразных отношениях между объектами: относительно объектов-соседей, расстояния вдоль линий, удаленности (от линейных и прочих объектов), включения одних объектов в другой (по имени, типу, номенклатурному листу, принадлежности к территории и пр.). Учитывая многообразие топологических связей, существующих не только в пределах одного картографического покрытия, но и между объектами разных тематических блоков, создание таких векторных топологических моделей требует тщательной разработки технологии оцифровки комплекса картографических материалов в целом и обеспечения согласования границ различных объектов. Для обеспечения этого для каждого вида объектов указываются все его потенциальные связи с другими объектами, а также средства топологии при их создании в векторном топологическом покрытии (например, использование конечных или узловых точек, замкнутости полигона, включения объекта в качестве подобъекта в другой и пр.). Использование в качестве источников внешних данных для ГИС расчлененных картографических изображений технологически упрощает создание полных (т. е. топологически и картографически точных) векторных покрытий.

Практика показывает, что в ГИС правомерны слоевой и объектно-ориентированный подходы организации геопространственных данных, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки.

Разрабатываемая на объектно-картографических принципах БД ГИС предусматривает в первую очередь организацию позиционных (геометрических, топологических) данных методом их группирования в различных слоях картографических покрытий различной тематики. Выбор слоевого подхода наиболее близок к объединению в единой геоинформационной (инфологической) модели разнородных семантических данных, прежде содержавшихся в наборе исходных картографических материалов различной тематики. Все другие характеристики объектов ГИС (семантические, атрибутивные) хранятся отдельно, в атрибутивной БД, рассматриваемой в качестве неотъемлемой части БД ГИС и именуемой в дальнейшем *атрибутивной составляющей* БД. Поэтому по типу взаимоотношения пространственной (графической) и атрибутивной информации структура является **геореляционной** (синонимы – **гибридная, смешанная**) и характеризуется раздельным хранением пространственных и атрибутивных данных.

Практической реализацией такой модели и является БД ГИС, описывающая местность на концептуальном уровне, в терминах предметной области моделируемых объектов, их свойств и отношений. В структуре разрабатываемой БД производится унификация концептуального представления семантически разнородных данных об объектах в соответствии с содержанием карт и в первую очередь их легенд, наглядно отражающих предметную область во всем разнообразии и иерархии объектов местности. Именно это делает легенду карты прообразом (квинтэссенцией) базы знаний, формируемой при чтении картографических произведений. Такая унификация обеспечит корректность и эффективность обмена данными между различ-

ными автоматизированными системами и приблизит региональную ГИС к разряду открытых ГИС, оперирующих категориями независимо от языкового содержания, и в конечном итоге к базе знаний о местности. Идеальным воплощением базы знаний в ГИС является совокупность унифицированных представлений семантических данных о земной поверхности, доведенных до категории стандартов.

Разработка объектно-картографических методов структуризации данных осуществляется исходя из стремлений получить систему открытой и приближенной к базе знаний. С этой целью для всей совокупности слоев картографических покрытий определялся оптимальный набор объектов, которыми должен оперировать пользователь как объектами ГИС при ее эксплуатации. Выбор объектов осуществлялся с учетом базы знаний, формируемой вокруг них. Это подразумевает в первую очередь положение конкретной группы объектов в иерархии других (в системе классификации/легенде), ареал распространения по территории (концентрация, характер распределения по площади), положение относительно других объектов (включение одних объектов в другие, примыкание, совпадение/несовпадение в пространстве и пр.). Именно такое описание и представление объектов оперирования ГИС, когда их выбор, классификация и определение основаны на преобладающем описании их сущности как объектов местности с одновременным подчиненным учетом особенностей их картографической выраженности (включая облик, содержательную сущность и характеристики), определяется как *объектно-картографическое*.

При определении содержания объектов и слоев картографических покрытий следует учитывать также технологические аспекты: удобство ввода данных с исходных материалов (как позиционных, так и атрибутивных), возможности группового кодирования и прописывания атрибутов и пр. Также должна учитываться специфика решения наиболее типичных аналитических задач ГИС, осуществляемых с определенными группами объектов. Слоевой принцип организации позиционных данных, обеспечивающий возможность быстрого оперирования совокупностями объектов, сгруппированных в слое (или в наборе слоев) по некоторому признаку (семантической принадлежности объекта, значению атрибута, количественной и качественной характеристике и пр.), оказывается эффективным при объектно-картографической организации данных в ГИС.

Альтернативой предлагаемым методам объектно-картографической организации данных является традиционный способ, когда на структуру ГИС распространяется структура данных существующих цифровых карт (например, топографической, геологической). Структура данных цифровых карт описана в их классификаторах, функционально приближенных к стандартизированным документам. Такая организация, на первый взгляд, оказывается более оптимальной, поскольку позволяет автоматически вводить данные существующих цифровых карт и оперировать полным набором их данных, прописанных в классификаторе, что и является признаком полнофункциональной ГИС.

Однако такая полнота функций оборачивается большим количеством и сложностью классификации объектов цифровых карт, по сути сводящейся к классифи-

кации их картографических изображений, что не всегда оказывается востребованным в реальной ГИС в полном объеме. Так, например, в топографическом классификаторе 200T99g.RSC насчитывается более 1000 объектов, распределенных по двум десяткам слоев, причем каждый объект может подразделяться на разновидности, определяемые его индивидуальной семантикой. В результате этого рядовому пользователю ГИС предстоит разобраться во всем этом многообразии с целью выборки необходимого набора объектов, требующихся для решаемой конкретной задачи. Кроме того, реализованная в классификаторе система разбиения на слои, типы объектов и их разновидности не всегда отображает сущность и взаимную подчиненность объектов, поскольку такое разбиение приоритетно осуществлялось с учетом требований полного отображения картографического изображения, а также последовательности ввода и согласования различных групп цифруемых контуров карты и пр.

Особенности классификаторов цифровых карт, выражаемые в их больших объемах и сложной структуре, объясняются основным предназначением цифровой карты не только систематизировать объекты местности, но и обеспечивать полное отображение их изображения. Поэтому применение таких структур, приоритетно ориентированных на отображение и во вторую очередь на систематизацию объектов (что далеко не всегда идентично), затрудняет процесс быстрого поиска нужной информации, а их использование в качестве основы геоинформационной (концептуальной) модели в ГИС оказывается недостаточно приемлемым. В случае их применения пользователь оказывается отчужденным от образа объекта местности, поскольку реальный объект подменяется его изображением, что и усложняет восприятие такой модели. База данных в данном случае окажется оторванной от описания предметной области моделируемых объектов и подменится описанием их картографического изображения, что не всегда оказывается идентичным.

Картографические покрытия формируются из объектов ГИС по тематическому принципу, в виде файловых структур, а связываемые с ними по какому-либо идентификатору (индивидуальному номеру, имени объекта, семантическому значению) атрибутивные данные организованы с помощью СУБД **реляционного** типа. Это позволяет выстроить всю структуру БД средствами отношений и при необходимости вносить в нее изменения – вводить новые атрибутивные таблицы, значения полей и словарей вплоть до того, чтобы изменить и переустановить связи, не прибегая к изменению соподчиненности объектов, прописанной в классификаторе. Привлекаемые ГИС статистические данные также могут рассматриваться как атрибут какого-либо пространственного объекта. Геореляционная модель в БД находит прямую аналогию в прообразе ГИС – карте (или комплексе карт), представляющей собой совокупность собственно картографического изображения и легенды.

Разработанная с применением объектно-картографического метода модель БД предоставляет возможность пользователю наглядно воспринимать семантическую сущность объектов слоя, комплексов слоев и тематических картографических покрытий в целом. При этом сущность каждого индивидуального объекта и его принадле-

длежность к какой-либо иерархии обеспечивается не самим графически отображаемым объектом, как на цифровой карте, а выносится отдельно (по аналогии с легендой карт) в систему классификации объектов, т. е. в атрибутивные таблицы.

Слоевой характер предлагаемой объектно-картографической модели БД придает гибкость ее структуре, возможность ее пополнения и усложнения путем введения новых картографических покрытий или их слоев и установления соответствующих связей объектов в атрибутивных таблицах. При необходимости возможно также изменение классификаций картографируемых объектов, не затрагивая структуру классификатора, это осуществляется всего лишь переустановкой связей в атрибутивных таблицах. В случае использования в качестве структурной основы БД структур классификаторов стандартизированных цифровых карт всякое дополнение и изменение структуры БД, связанное с ее пополнением, потребовало бы изменений и дополнений самих классификаторов, а для объектов уже существующих картографических покрытий – введения таблиц перекодировки. Манипулирование данными отдельных файлов и слоев обеспечивает также возможность оверлейных (Overlay) операций в качестве эффективного средства обработки и анализа географической информации, содержащейся в БД.

Модель, разработанная на объектно-картографических принципах, обеспечивает положительные качества, присущие скорее объектно-ориентированному подходу (полная функциональность и гибкость системы), однако средства достижения таких качеств здесь иные и обеспечиваются слоевым характером структуры данных, организованных посредством внешней СУБД реляционного типа.

Особенности объектно-картографической организации данных при разработке структуры БД ГИС могут быть поняты с позиций многоуровневой архитектуры СУБД, включая уровень моделей-приложений, уровень внешних моделей БД и концептуальный, являющийся по существу моделью рассматриваемой БД. В качестве дополнительного может быть рассмотрен самый верхний уровень, охватывающий область немашинного представления данных об окружающей реальности местности (исходных данных аналоговых карт различного содержания).

Разработка БД ГИС требует использования нескольких базовых моделей (например, топографической, геологической, почвенной и других цифровых карт), что соответствует разнообразной тематике отображаемых объектов в связи с ее многоотраслевым характером. При традиционном подходе, когда наследуется структура исходных классификаторов, структура унифицированных данных в БД может превратиться в набор некоторых групп данных об объектах в соответствии с тематикой использованных цифровых карт. Каждая из этих групп будет характеризоваться своими принципами организации, заложенными в исходных классификаторах, а структура моделей объектов ГИС может оказаться избыточно насыщенной за счет выделения в отдельных ее подразделениях одних и тех же типов объектов, всего лишь несколько различающихся своим картографическим отображением на исходной карте. Подробности в картографическом описании объектов, которые, возможно, и будут востребованы в условиях использования

всей полноты функций ГИС, в реальной практике в ГИС могут оказаться излишними и затрудняющими восприятие пользователем объектной сущности картографируемых явлений или объектов местности.

Проблема использования классификаторов цифровых карт при разработке БД ГИС усугубляется ее комплексностью (многоотраслевым характером), в связи с чем нельзя ограничиться, как основой проектирования ее структуры, каким-то одним классификатором, требуется объединить несколько классификаторов в одной концептуальной модели, каковой является БД. Кроме того, проблема усугубляется еще тем, что в некоторых частях различные классификаторы перекрываются (например, раздел растительности топографического классификатора с объектами карты растительности), а для отдельных тематических карт классификаторы еще не разработаны. На относительную универсальность претендуют топографические классификаторы, но они отражают далеко не все объекты ГИС.

Таким образом, разработка БД на принципах структурирования на базе существующих классификаторов цифровых карт в условиях многоотраслевого характера БД ГИС может привести к усложнению процессов моделирования и пространственного анализа. Излишняя «картографичность» в отображении в этом случае как бы «забывает» или вуалирует смысловое содержание моделируемых объектов, столь важное для ГИС. Одним из важнейших требований, предъявляемых к современной ГИС, является простота в осуществлении манипулирования данными различных категорий на основе интуитивных понятий рядового пользователя, не требующих от него высоких программистских навыков.

С целью преодоления вышеперечисленных проблем предпочтительнее структура БД, построенная на объектно-картографических принципах, что обеспечивает наглядность и универсальность (гибкость) системы и позволяет предлагать ее в качестве эталона или образца-макета БД ГИС.

В качестве основы формирования структуры БД предполагается использование оптимального для ГИС набора массивов данных об объектах местности, организованных по объектно-картографическому принципу и рассматриваемых в качестве первичных векторных картографических покрытий. Такие данные соответствуют уровню обобщенного представления, являясь, по существу, и множеством унифицированных данных для использования в ГИС, а порознь представляют собой также источники внешних данных для формирования ее моделей.

Каждое покрытие, представляющее собой набор позиционных данных об объектах определенной тематической группы, формируется в виде файла тематического картографического покрытия, обеспечивающего графическое отображение множества геопространственных объектов в ГИС. В пределах картографического покрытия объекты распределены по слоям, что позволяет оперировать группами и совокупностями групп объектов различных категорий.

Каждый объект слоя посредством идентификатора связывается с соответствующей таблицей «дерева» семантических атрибутов объектов ГИС (см. рис. 6), разработанного с учетом классификаций, принятых в той или иной предметной области, с помощью реляционной СУБД. Это обеспечивает связь каждого графиче-

чески отображаемого объекта с любой классификационной группировкой предлагаемой схемы, что позволяет осуществлять описание его семантической сущности, а с другой стороны – извлекать любые сочетания объектов по запрошенным смысловым значениям или характеристикам. Система таких взаимосвязанных таблиц эффективна для организации данных в БД и обеспечивает в ней поддержку автоматической связи объектов во всех случаях, когда она однозначна и прописывается строгой иерархической системой соподчиненности, разработанной в соответствии с естественной классификацией объектов.

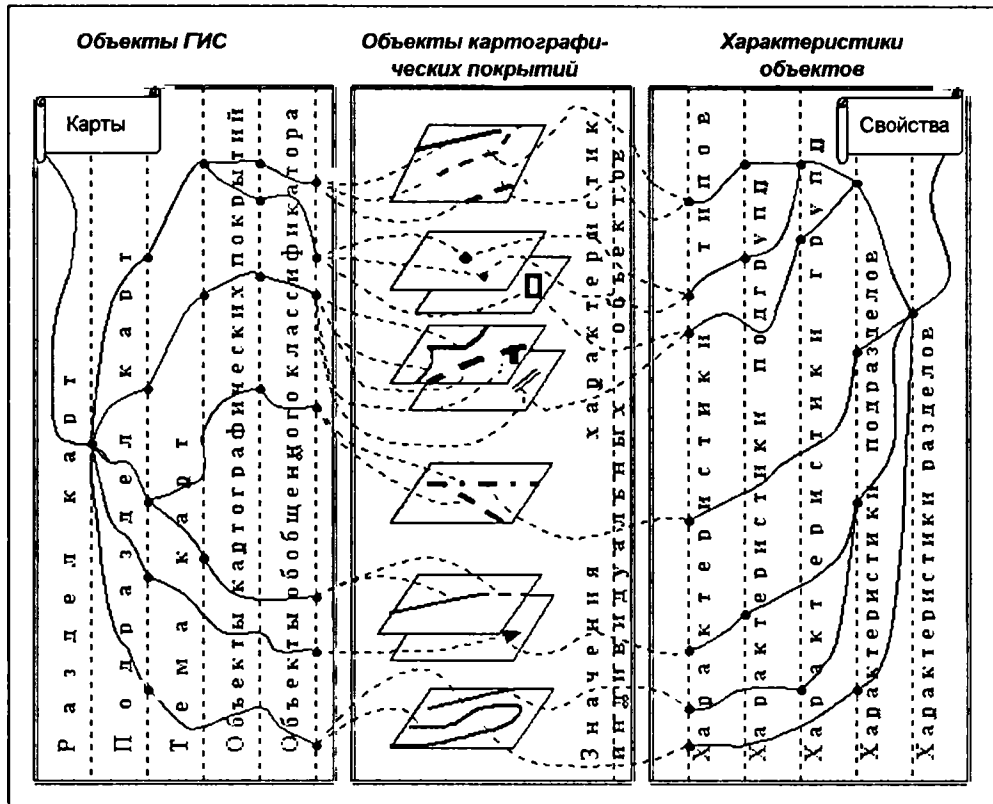


Рис. 6. Структура БД ГИС при объектно-картографической организации данных

В сравнении с традиционной структурой, построенная на предлагаемой концепции структура оказывается более благоприятной для осуществления второй группы задач ГИС, связанных с формированием картографически отображаемых отчетов на основании запросов из семантической БД. Это, однако, вовсе не исключает и решение прямых задач, связанных с запросом атрибутивной информации «через карту». Напротив, БД, сформированная на основе цифровой карты, оказывается более приспособленной для формирования табличных данных для совокупностей выделенных объектов текущего картографического покрытия, в то время как решение обратной задачи может быть осуществлено лишь на основании

индивидуальных атрибутов, сопровождающих каждый графически отображаемый объект в соответствии с применяемым классификатором. Эффективное решение такого рода обратных задач в этом случае может быть обеспечено при хорошем знании пользователем структуры применяемого классификатора.

Распределение всего множества объектов БД по файлам и слоям осуществляется в соответствии с типовыми задачами и запросами ГИС с одновременным обеспечением наглядности и удобочитаемости графического покрытия, при этом ставится задача максимально исключить перегруженность последнего. Это составляет первый этап формирования БД по объектно-картографическому принципу.

БД, организованные по объектно-картографическому принципу, должны строиться как на основе топографических и тематических карт, имеющихся на данный регион, так и специальных данных, которые могут быть получены дополнительно. Структура таких БД подчинена правилам чтения карт, выраженным в содержании условных знаков и ареалах распространения различных групп объектов, и, таким образом, может оказаться ближе к процессам мышления. Машинное выражение этих принципов чтения заключается в специализированных картографических покрытиях, сформированных в идеологии беглого и наглядного прочтения карты с целью использования результатов такого прочтения в аспекте решаемых задач ГИС. От степени наглядности структурирования данных в таких покрытиях и связанных с ними атрибутивных таблицах зависит степень приближения всей БД к разряду интеллектуальных. В структуре такой БД желательно отобразить стандартные процессы восприятия, в первую очередь – от общего к частному или путем последовательного приближения к объекту по системе иерархий. Совокупность объектов БД выражена в ее концептуальной модели, на основе которой формируются знания о регионе.

При разработке проекта структуры картографических данных ГИС в первую очередь определяется состав исходных данных, формирующих в конечном итоге базу знаний о местности в рамках задач ГИС. Состав данных разрабатывался как совокупность потенциальных объектов оперирования будущей ГИС.

При организации исходных данных требуется учет специфики формирования объектов в той или иной программной среде, предусматривающей использование разных подходов и моделей.

Картографические данные организуются в виде вложенных (иерархически подчиняющихся) группировок объектов различной тематики, образующих древовидную структуру. Фрагмент такой структуры, иллюстрирующий структуру нескольких тематических разделов БД, изображен на рис. 7. Основу структуры составляет множество объектов картографических покрытий (позиционные данные) и сопровождающих их атрибутов, определяющих их положение в иерархии тематических разделов карт (левая часть схемы) и «дерева» характеристик (правая часть схемы). В общем виде БД ГИС при реализации принципа объектно-картографической организации данных была представлена ранее как структура с многократным ветвлением атрибутов (см. рис. 7), характеризующих свойства всего множества отображенных на картах объектов и признаков их иерархического положения как объектов оперирования ГИС.

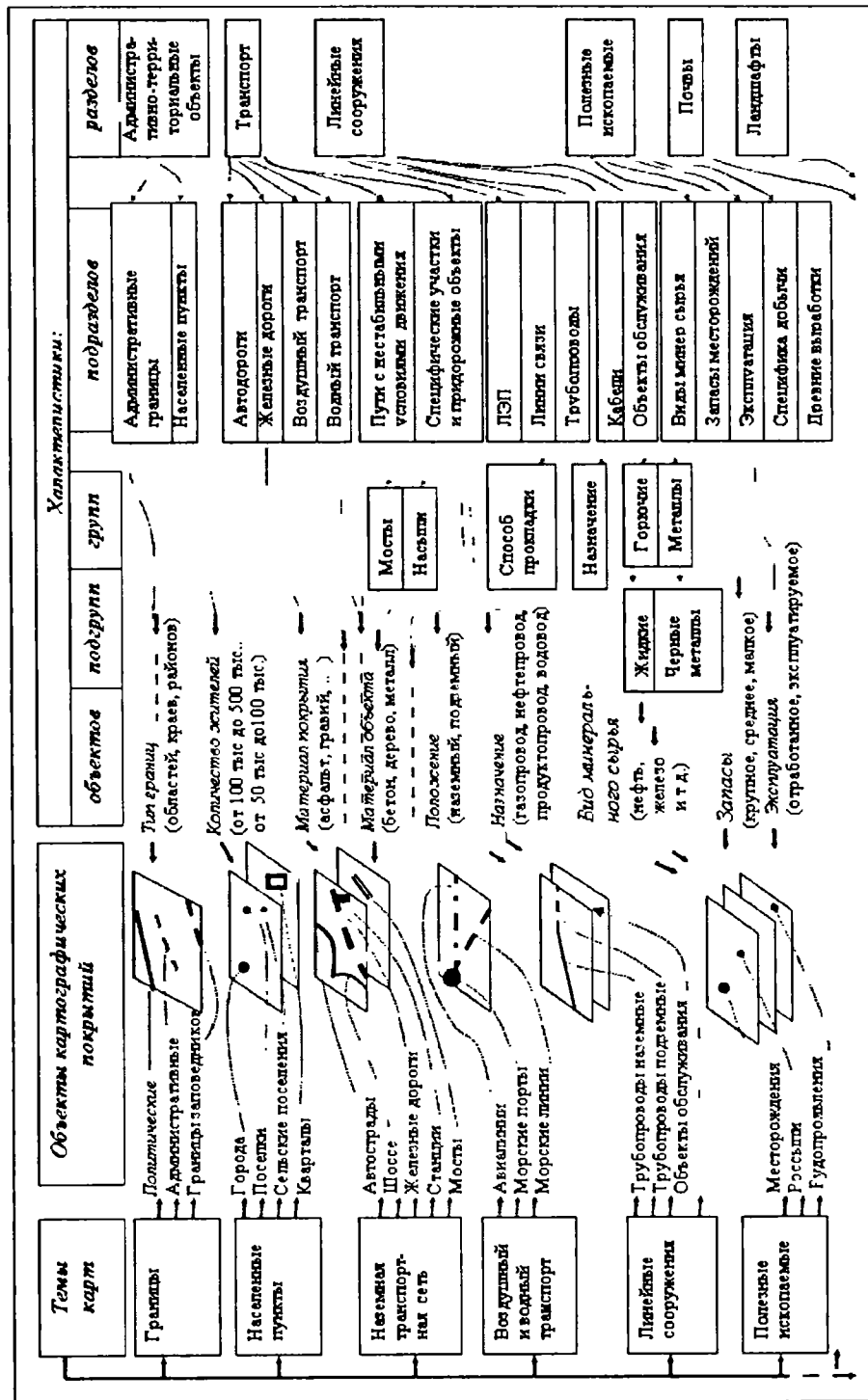


Рис. 7. Принципиальная схема объектно-картографической организации данных в региональной ГИС (фрагмент)

В картографическом блоке БД ГИС предстоит унифицировать все разнообразие материалов по природным, экономико-политическим, историческим, экологическим и прочим аспектам комплексного описания региона. Часто применяющееся при подобном описании разделение картографической информации на чисто топографическую и тематическую в БД ГИС нецелесообразно ввиду условности такого деления. Объясняется это тем, что грани между топографическими и тематическими объектами уже стерты даже на уровне карт: объекты тематических карт зачастую являются также объектами топографической карты и наоборот. В ГИС, когда информация может быть затребована на интеграционной основе, такие различия в видах информации вовсе не актуальны.

Проблемы интеграции подобных данных в единой геоинформационной модели заключаются в том, что каждая из исходных карт, существующая сама по себе и характеризующаяся, как правило, своим специфическим набором объектов, в какой-то части перекрывается с содержанием других картографических источников. В связи с этим возникает проблема выбора приоритета использования той или иной карты при вводе данных, характеризующих эти объекты. С одной стороны, такое перекрытие кажется явным, поскольку обусловлено дублированием объекта на разных картах. Это требует исключения подобных повторений в БД ГИС. В то же время такое перекрытие почти никогда не бывает абсолютным, поскольку на разных картах объектам одной категории может придаваться различное толкование их семантической сущности, а в их описании могут присутствовать различные атрибуты (названия объектов, их семантика и характеристики, формы картографического отображения, тип пространственной локализации). Это делает данные разных карт взаимодополняющими.

Пример подобной двойственности проиллюстрируем на примере выборочных объектов карты полезных ископаемых и топографической, параллельно использующихся для описания минеральных ресурсов региона. Объекты первой карты – месторождения полезных ископаемых, которые отождествляются с пространственными вместилищами определенного полезного ископаемого и моделируются в геоинформационной модели в качестве точечных (реже площадных или линейных) объектов, наделенных специфическими атрибутивными характеристиками (вид минерального сырья, категория запасов, состояние эксплуатации и пр.). Аналогами месторождений на топографической карте являются объекты, косвенно связанные с добычей какого-либо полезного ископаемого (нефтяные и газовые промыслы, карьеры, шахты и пр.), которые приоритетно рассматриваются в качестве ориентиров на местности, хотя данные об их местоположении в пространстве могут использоваться при оценке состояния минеральных ресурсов региона.

Разработка состава и структуры ГИС направлена на то, чтобы объединить, взаимно дополнить и унифицировать комплекс разнородных данных различных картографических источников в терминах единой ГИС. Полученная структура должна обеспечивать разрешение вопросов, возникающих при ее формировании из данных разных картографических источников, что предусматривает решение проблем со-

гласования границ, отбраковки дублирующих и перекрывающихся данных, получения расширенных описаний объектов (семантик, атрибутов) путем объединения отдельных частных характеристик, представленных на разных картах.

При создании большинства тематических карт могут использоваться объекты разных картографических источников. Например, при создании карт источников воды правомерно использование данных о родниках топографической карты и сведений, получаемых из специальных карт (гидрогеологической, карты подземных вод и др.). Подобная двойственность (с позиций размещения в первоисточнике и с позиций использования в БД) характерна для большинства топографических объектов тематического характера. Поэтому если аэро- и космическая информация еще претендуют в ГИС на обособление в отдельные БД, то база данных топографической и тематической информации по сути едина, имеет определенную структуру, претендует на название *картографической* БД и представляет собой совокупность комплексных картографических сведений о регионе.

Определение состава и структуры картографических покрытий составляет первый этап проектирования БД. Векторное отображение является определяющим для графического отображения реальных объектов в виде моделей ГИС и обеспечивает всестороннее их описание, включая позиционирование в пространстве, форму, размерность, топологию.

Данные карт вводятся в структурированном виде, будучи разделенными уже на стадии ввода по темам (файлам векторных покрытий), а внутри них – по слоям. Каждый файл/слой включает объекты, охарактеризованные определенными атрибутами.

Значительная часть атрибутов, присутствующих и на картах в виде подписей, характеристик изображаемых на ней объектов и пр., требует размещения в соответствующих атрибутивных таблицах. Разработка и создание системы таких таблиц, проведенные в соответствии с семантической и атрибутивной нагрузкой карт, составляют второй этап формирования БД. Важнейшей составляющей данного этапа является анализ содержания карт для формирования словарей, прописывающих одинаковые наборы атрибутов для различных групп объектов ГИС.

Заключительным этапом разработки проекта является формирование связей атрибутивных таблиц с соответствующими пространственными объектами, графически отображаемыми в ГИС.

При разработке проекта структуры БД ГИС применяется сочетание двух противоположно направленных стратегических подходов:

- а) сверху вниз, с определения функций и задач ГИС;
- б) снизу вверх, с анализа исходных данных.

Определение задач ГИС позволяет наметить основные группы ее объектов (предварительный структурный каркас БД) и затем на основании анализа имеющихся и требуемых для решения задач данных окончательно определить все поля данных, необходимые для их всестороннего описания связанных групп объектов.

Наличие четкой структуры пространственных данных, ориентированной на их организацию в целях оптимального хранения и использования, составляет ос-

нову эффективного функционирования ГИС. Данные организуются в виде файлов тематических картографических покрытий, спроектированных с учетом общепринятых классификаций и традиционных запросов, осуществляющихся на основе классификационных подразделений. Каждый из файлов (покрытий) приоритетно ориентирован на обеспечение решений группы задач, сводящихся, как правило, к информационному обеспечению пользователя данными об объектах определенной тематики. Дальнейшая систематизация данных в пределах тематического покрытия реализуется при определении содержания отдельных его слоев. Формирование тем и слоев производится также с учетом картографических методов отображения объектов (подход «снизу вверх»).

Объектно-картографический метод, направленный на компактное и наглядное размещение множества позиционных и атрибутивных данных в БД, в какой-то степени оказывается аналогичен картографическому принципу размещения на ограниченной площади листа карты множества данных об объектах местности, представляемых в виде их картографических моделей.

При объектно-картографической структуризации геопространственных объектов реализуются принципы, положенные в основу психологического восприятия объектов картографического изображения в качестве объектов местности. Это позволяет рассматривать полученную структуру БД как реализацию обоих принципов: «сверху вниз», т. е. от задач, сводящихся к задаче компактного и наглядного отображения на карте широкого комплекса данных о регионе, и «снизу вверх», от перечня объектов исходных материалов (карт) к задачам.

Технология формирования и ведения картографической БД ГИС предусматривает следующие этапы:

- составление перечня исходных для ее создания картографических материалов (видов и типов);
- анализ содержания карт и условных знаков с целью определения состава информации, передаваемой в БД;
- определение структуры (соподчиненности, взаимосвязанности) информации формируемой ГИС в зависимости от: 1) структуры и состава представляемых исходных материалов, 2) наиболее вероятных типов задач (запросов) будущей ГИС;
- уточнение порядка (последовательности) создания и поддержания БД.

Специфика БД в том, что она должна быть ориентированной, т. е. должна позволять оперировать не только локальными индивидуальными объектами, формируемыми в виде точечных, линейных или площадных элементарных объектов, но и их объединениями, распространяемыми на регион в целом. Так, например, дорога, соединяющая Москву и Петербург, на карте может быть выражена отдельными отрезками участков разных типов дорог, зачастую прерывающихся контурами промежуточных населенных пунктов, в то время как потребитель картографической информации воспринимает ее как единую и непрерывную линию, соединяющую эти пункты. В ГИС также должна обеспечиваться такого рода двойственность восприятия за счет применения различных топологических моделей.

Важность топологической корректности БД ГИС связана с интеграцией ею широкого круга объектов, описываемых различными комбинациями моделей трех типов, соответствующих точечным, линейным и площадным (контурным) картографическим объектам. Существующие в природе связи между этими объектами должны быть перенесены в картографические покрытия, что и обеспечит возможность решения в ГИС широкой группы задач, связанных с топологическими отношениями. Учитывая широту круга потенциальных задач ИС, БД должна обеспечить весь спектр топологических связей между объектами, включая в первую очередь отношения смежности и соседства контурных объектов, пересечения/примыкания, существующие между объектами линейного и точечного характера, и включения/содержания одного объекта в другом. Для некоторых групп объектов, например рек, может оказаться важным отношение направленности.

Применение топологических моделей существенно расширяет понятие пространственной привязки объекта, для него может указываться положение относительно объектов-соседей, расстояния вдоль линии или на оговоренной удаленности от нее (например, от дороги). Возможны операции включения объектов в другой объект, заданный по имени, типу и пр., либо признание его принадлежности к участку разбиения территории, например номенклатурному листу или административному району.

Пространственные данные в ГИС должны быть топологически связанными – как в одном и том же слое данных, так и между перекрывающимися объектами в различных файлах и слоях картографических покрытий.

Созданию качественной топологической модели предшествует подготовка геометрических данных, которая плохо подвергается автоматизации и требует значительных трудозатрат. При формировании БД ГИС рекомендуется использовать тщательно согласованные исходные картографические материалы, а в процессе оцифровки топологически совпадающие точки разных покрытий вводить по значениям координат или копированием из слоя базового картографического покрытия, к объектам которого должна быть привязана та или иная группа объектов. С этой целью отдельные группы объектов разрабатываемого проекта БД рекомендуется проанализировать на предмет возможных топологических связей с объектами других групп, указав характерные элементы (точки, линии), подлежащие согласованию.

Важность топологической согласованности для всего набора картографических покрытий особенно актуальна при решении задач ГИС, связанных с пространственным анализом, и в первую очередь в связи с проведением оверлейных операций. Поэтому желательно провести также анализ объектов на предмет определения возможности формирования новых объектов на основе комбинаций нескольких типов исходных (оговорив список разрешенных и запрещенных для оверлея объектов).

Вопросы целостности БД ГИС требуют рассмотрения топологической целостности: 1) отдельного картографического покрытия (тематического файла /слоя); 2) всей совокупности тематических покрытий БД; 3) атрибутивной (классификационной) составляющей БД.

Целостность атрибутивной БД, не представляющая особых проблем, обеспечивается внутренними средствами СУБД, которые необходимо задействовать при создании системы связанных классификационных таблиц, выполняющих роль словарей. Разработка их содержания, наполнение реальными значениями, формирование связей должны осуществляться в соответствии с принципами классификаций, лежащих в легендах и содержании исходных карт. Рекомендуется апробировать качество созданной модели на реальном примере ввода данных фрагмента карты (или легенды). При массовом вводе данных состав словарей может расширяться за счет группировок, отсутствующих в пробном картографическом покрытии, однако целостность БД не будет нарушена.

Проблема целостности данных, возникающая для объектов всей совокупности картографических покрытий, может быть решена проверкой взаимно согласуемых объектов на предмет корректности (наличия согласования) их границ. При этом необходимо учитывать и потенциальную возможность участия этих объектов в формировании новых (синтетических) объектов на основе оверлея.

Потребность внесения изменений в состав и структуру разработанного проекта БД может возникнуть как при его адаптации к конкретному региону, так и в процессе создания, поддержания и эксплуатации уже существующей БД. Такая необходимость может возникнуть, например, при постановке новых задач ГИС либо в случае появления принципиально новых типов информации о регионе. Эталонная структура должна обеспечивать возможность пополнения состава тематики и содержания данных, в том числе и данными более крупных масштабов. Осуществляться такое пополнение должно без нарушения топологической целостности ранее созданной структуры. Рассмотрение вопросов изменений в БД следует осуществлять с двух позиций:

- 1) редактирование атрибутивной (классификационной) части БД;
- 2) редактирование картографических покрытий.

Редактирование атрибутивной (классификационной) части включает в себя:

- редактирование и пополнение словарей (в связи с изменением содержания записей и введением новых);
- добавление ветвей в систему классификации и создание для них новых словарей;
- редактирование (добавление и переустановка) связей.

Редактирование картографических покрытий может осуществляться:

- в пределах покрытия;
- между слоями одного покрытия;
- между несколькими покрытиями или слоями;
- в связи с созданием новых покрытий.

С перечисленных позиций рекомендуется провести анализ различных объектов БД предлагаемого проекта.

При редактировании классификационной части руководствуются принципом сохранения существующей системы классификации в качестве неизменяемой части в формируемой новой. Создание дополнительных ее ветвей лишь осложняет структуру прежней, не нарушая целостности как семантических (атрибутивных) данных, так и позиционных их характеристик, содержащихся в картографических покрытиях. К переустановке связи в сформированной структуре БД следует прибегать только в крайнем случае, когда средства ветвления данных оказываются недостаточно эффективными.

С целью исключения ошибок в редактировании картографического покрытия рекомендуется для каждого типа его объектов указать:

- 1) семантическую таблицу, обеспечивающую связь объекта с классификационной составляющей БД (соответствующей «веткой дерева» атрибутов);
- 2) набор семантических таблиц, содержащих метаданные объекта – специфические значения атрибутов, неоднозначно прописанные в использованной системе классификационных таблиц (это укажет структурное положение таблиц пересечения, обеспечивающих такие неоднозначные связи в классификации).

Редактирование и ввод новых объектов в существующее картографическое покрытие, проведенные с выполнением топологических требований, никак не отразятся на целостности БД. Суть этих требований сводится к параллельному внесению соответствующих исправлений в контуры согласующихся с ними объектов. Для обеспечения контроля качества подобных топологических связей желательно использовать средства ГИС-продуктов либо разработать специальные подпрограммы, обеспечивающие редактирование взаимно согласуемых объектов.

Редактированию (добавлению) новых покрытий и слоев должно предшествовать создание новых ветвей в классификационной структуре БД ГИС. Это фактически сводится к расширению состава словарей, связываемых с объектами нового слоя, и появлению дополнительных таблиц в системе классификации объектов БД.

Предлагаемая структура БД обеспечивает возможность добавления новых ветвей, что может случиться при появлении потребности введения в систему не используемых ранее данных (например, при решении нетрадиционных задач, использовании незадействованных ранее данных и пр.), что обеспечивает открытость такой системы.

В качестве исходных данных для базы данных геоинформационной системы на каждом уровне могут быть:

- 1) данные о геопространственных объектах (позиционные, семантические, атрибутивные), считываемые с карт на бумажной основе, но чаще всего уже существующие в цифровой форме в виде векторных (цифровых) карт, карт в растровой форме либо в виде первично унифицированных данных, переданных с вышележащих уровней;
- 2) данные, регламентирующие порядок сбора данных для БД, обычно формулируемые в виде «технического задания на сбор данных» (ТЗсб);

- 3) данные, регламентирующие порядок синтезирования и внешнего представления моделей, используемых при обработке и хранении данных, а также моделей, сформированных по запросам в ходе решения пространственно-аналитических задач ГИС.

Информационной основой базы ГИС служит совокупность данных, содержащих разнообразие характеристики объектов местности: семантические, позиционные (геометрические и топологические) и атрибутивные (качественные и количественные). Все их разнообразие организовано как совокупность множеств **позиционных характеристик**, принадлежащих к разным группам объектов БД (файлы картографических покрытий) и связанных с ними **таблиц**, описывающих семантическую и атрибутивную сущность каждого объекта.

Основными элементами для графического отображения в ГИС геопространственных объектов принимаются точка, линия и площадь. Элемент «объем» в данной ГИС может найти ограниченное применение при решении некоторых специальных задач (например, при объемном представлении рельефа, отображении пересечений дорог на разных уровнях, структурно-геологическом моделировании и пр.). Учитывая узкую специфику таких задач, категория «объем» при необходимости может быть введена в БД путем указания третьей координаты (Z).

Контрольные вопросы

1. Какие задачи решают геоинформационные системы?
2. Перечислите системы сбора геоинформации.
3. Опишите технологию создания цифровой карты по картографическим источникам.
4. Что такое формат цифровой карты?
5. Перечислите пространственно-логические отношения между объектами на электронных картах.
6. Нарисуйте структурные схемы геопространственных баз данных.

ГЛАВА 3

Моделирование и принятие решений в ГИС

3.1. Анализ данных в ГИС

Выделение геоинформационных систем в отдельную группу информационных систем ведет к проектированию новых технологий, основанных на обработке геопространственных данных, и построению новых информационных систем, предназначенных для оценки состояния территорий и геосистем:

В связи с этим в настоящее время чрезвычайный интерес вызывают средства анализа данных в ГИС, среди которых в первую очередь можно отнести: методы принятия решений, создания экспертных систем и баз знаний, системное моделирование трехмерных сцен. Наиболее современным и эффективным способом анализа данных в ГИС является объектно-ориентированный подход. Использование такого подхода к анализу данных ГИС существенно расширяет круг решаемых прикладных задач. В дальнейшем системы, позволяющие выполнять отмеченный анализ, будем именовать как аналитические информационные системы АГИС.

Данный подход выдвигает целый ряд проблем, одной из которых является объектно-топологическое представление семантических данных.

Необходимость рассмотрения вышеперечисленных вопросов привела к появлению в ГИС функционального блока анализа данных (БАД), в котором с использованием методов статистики, сетевого моделирования поддержкой пространственной топологии имеется возможность решать задачи моделирования жизненных циклов различных систем на некой территории, смещаясь от картографического подхода, ограниченного пространственно-топологическими отношениями между объектами, к системному.

Традиционное понимание термина «топологические отношения» позволяет манипулировать только статическими отношениями соседства, вложенности, примыкания к границе и др. Концепция БАД – динамическая концепция. Если достаточно большое количество объектов на карте может перемещаться и менять форму – необходимо анализировать не только пространственное распределение некоторых характеристик, но и движение ресурсных потоков через объекты, которые изображены на карте: транспортные, жидкостей и газа по трубам, электроэнергии по проводам и др.

В данных случаях одними традиционными топологическими пространственными отношениями обойтись невозможно, и требуется использовать понятие топологической ресурсной связи.

Для того чтобы попытаться отобразить достаточно сложную динамическую реальность с территориальным аспектом в ее описании, возможно использовать два базовых понятия.

Топологические пространственные отношения (ТПО) – это пространственные топологические отношения в рамках традиционных ГИС-технологий, отражающие пространственные отношения близости и взаиморасположения в пространстве объектов или их частей (слева, справа, внутри, близко, далеко и т. д.).

Топологические пространственные ресурсные связи (ТПС) – это такие отношения, которые совместно с пространственными топологическими отношениями отражают ресурсные потоки протекаемые на территории, например, при представлении моделей сетевых коммуникаций, предназначенных для отображения различных физических и социальных процессов.

ГИС сегодня необходимо рассматривать как систему, моделирующую в динамике, а представленные сегодня на рынке ГИС – это сложные, с некоторыми аналитическими способностями, визуализаторы информации. Поэтому необходимо развитие нового типа ГИС, ориентированных на анализ больших наборов неоднородных данных.

Так данные ГИС используются в таких областях хозяйственной деятельности как:

- контроль за рациональным использованием природных ресурсов;
- исследование социально-экономического состояния региона;
- развитие транспортных сетей;
- разведка, добыча и транспортировка минеральных ресурсов, нефти и газа.

Каждая из перечисленных областей имеет свои особенности, которые должны быть учтены для получения полного и эффективного решения в пространстве многопользовательских информационных систем (интранет/интернет-пространстве), и ГИС можно отнести к таким системам.

Работая с пространственно распределенными объектами, сами по себе геоинформационные системы архитектурно представляют либо локальную, либо файл-серверную структуру. Развитие современных клиент-серверных технологий почти не затронуло современные ГИС.

При системном подходе процесс разработки геоинформационной аналитической системы (АГИС) можно рассматривать как поиск ее оптимальной структуры путем разбиения ее на подсистемы. Построение схемы обобщенной АГИС можно осуществить на основе анализа входных и выходных информационных потоков автоматизированной системы. Данные АГИС несут информацию о положении, топологических связях и признаках отдельных объектов. Топологические и динамические аспекты обработки данных отличают АГИС от других информационных систем.

При вводе данных в АГИС необходимо использовать семантическое кодирование. Теоретической основой семантического кодирования является принцип

использования избыточности для проектирования соответствующих алгоритмов. Избыточность обусловлена спецификой картографической информации, которая посредством сокращения второстепенных и выделения главных признаков способствует совершенствованию процесса ее восприятия. Следует заметить, что избыточность, обусловленную неоптимальностью кодирования, в целях контроля использовать достаточно сложно, поэтому целесообразно применять семантическое кодирование.

При семантическом кодировании априорная информация должна быть сконцентрирована в библиотеке кодов и характеристик, в соответствии с которой устанавливается допустимость того или иного кода для обрабатываемого элемента содержания, допустимость характера локализации, кодов, характеристик и их значений для обрабатываемого кода, наличие обязательных характеристик.

Кроме того, может быть использован тот факт из набора знаний, что каждому объекту должна соответствовать единственная запись в метрической и семантической информации, а номера объектов не должны выходить за диапазон проверки.

От того, насколько организация структуры данных учитывает ситуационную реальность на местности, происходящие на ней процессы и существующие соотношения свойств, зависит степень точности и правильности моделирования этих явлений и процессов при помощи данной структуры. После перевода данных в цифровую форму их необходимо систематизировать так, чтобы они были доступны всестороннему и эффективному использованию в дальнейшей обработке. Так, топографические и природно-ресурсные данные о местности – данные пространственные, для их организации могут быть применены пространственные модели.

Описание пространственных объектов в АГИС, т. е. формализованное представление их свойств, предполагает указание их позиционной и содержательной определенности. Позиционная часть описания данных (позиционные свойства объектов, геометрические, метрические, тополого-геометрические или иные позиционирующие их атрибуты) организуется в определенные структуры (модели) пространственных данных, связанные некоторыми отношениями.

Концепция предлагает дополнить традиционный набор функций ГИС функциями для анализа сетей (таких как дороги, коммуникации, городские улицы и др.) и инструментами для решения транспортных задач.

Важной составной частью этой задачи является разработка кратчайшего маршрута с указанием направлений движения. При разработке маршрута будут учтены ограничения передвижения по дорогам, запреты поворотов и другие правила дорожного движения. Выдача маршрутного листа передвижения – одна из стандартных задач данного расширения. При этом подробные инструкции могут быть выданы как для проезда из одной точки в другую, так и при разработке оптимального маршрута посещения нескольких мест. Определение зон доступности – еще одна из серьезных аналитических функций расширения. Она позволяет определить ареалы зон, равноотстоящих от любых пунктов или центров, расположенных на сети.

Современное общество отчасти можно рассматривать как систему сетей, предназначенных для транспортирования, передачи и распределения электроэнергии,

товаров и информации. Поскольку каждая система имеет весьма сложную структуру и является дорогостоящей, возникает необходимость в эффективном использовании уже существующих технических средств и рациональном проектировании новых средств. При проектировании и усовершенствовании больших и сложных систем, а также при поиске путей их наиболее рационального использования существенное значение могут иметь методы сетевого анализа.

Необходимость использования ГИС-технологий для анализа транспортных сетей (АТС) задается двумя факторами:

- 1) природой основных данных по инженерным сетям;
- 2) далеко не все ГИС полностью поддерживают топологические отношения.

Многие получившие широкое применение в первый период внедрения ГИС более простые системы этого делать неспособны. В частности, в них может отсутствовать в качестве базового такое понятие, как направление линии, и, соответственно, понятие правого и левого (ответвления, соседа).

Для этого требуется создание ГИС-надстройки, работающей с различными нетопологическими ГИС-форматами и выявляющей топологию, формирующей структуры, позволяющие поддержать аналитические операции ГИС, требующие топологического подхода.

Транспортные сети (ТС) наиболее удобно представляются как граф, т. е. их представление должно быть топологически однозначно.

Основными элементами при анализе сетей являются:

1. Линейные объекты, соответствующие дугам графа.
2. Узлы как специальный тип точечных объектов.
3. Площадные объекты, соотнесенные с п. 1–2.
4. Вторичные (наложенные) линейные объекты типа маршрутов.

Необходимые условия работы ГИАС:

1. Межслойные топологические отношения между объектами (межобъектные топологические отношения между объектами разных слоев). Межслойные топологические отношения – это топологические пространственные отношения между объектами разных типов, которые обычно регистрируются в разных слоях карты. Работа не только с прямоугольными, но и с линейными координатами, по пикетажу вдоль линии.
2. Возможность смысловой генерализации.

Субграфы в сетях могут моделироваться или с помощью дуг (ребер графа), или с помощью узлов. То есть речь идет о введении иерархии сетей – участки графа определенного уровня иерархии (субграфы) могут сжиматься до линии или до узла, если нас в данный момент не интересует их внутреннее устройство.

Задачи, решение которых может обеспечить анализ транспортных сетей, довольно широки:

- инвентаризация объектов распределенной инфраструктуры;
- планирование развития;
- выявление «узких мест»;

- моделирование работы при различных условиях;
- ведение технической документации;
- анализ КПД перевозок и планирование оптимального маршрута;
- оперативное управление сетью;
- оперативное реагирование на аварии и чрезвычайные ситуации, в том числе внешние по отношению к данной конкретной сети;
- обеспечение профилактических и аварийных ремонтных работ;
- обеспечение взаимодействия с другими инженерными сетями на территории;
- взаимодействие с другими территориальными службами и органами управления (земельным кадастром, органами охраны окружающей среды, АПУ и т. д.);
- мониторинг состояния сетей и предотвращение аварийных ситуаций;
- выбор оптимального маршрута;
- оптимальное распределение ресурсов;
- потоковые задачи.

Система АГИС должна позволять производить комплексный анализ содержания как отдельной векторной карты, так и множества тематических карт как единого смыслового целого, представляя их в качестве гиперсвязей.

Топологизация карты представляет собой смысловое обособление объектов карты их сочетаний, с их пространственными взаимосвязями.

Каждый элемент в строящейся сети характеризуется своим весом (плотностью связей) и набором связей с другими элементами – контекстным узлом.

Связи между элементами характеризуются своими весами связей.

Строится дерево связей. Элементы в корне дерева представляют список объектов с наибольшей плотностью связей, а связанные с ними элементы последующих уровней дерева в контекстных узлах представляют списки зависимых объектов. При этом эти объекты могут, в свою очередь, иметь зависимые от них объекты.

Множество индексированных карт представляет собой единую гиперкарту, в которой выделенные объекты и их сочетания позволяют отсылаться в другие соответствующие им места карт.

3.2. Модели данных в ГИС

Для обоснованного принятия решения необходимо всестороннее изучение проблемы, рассмотрения возможных последствий и различных факторов, которые могут повлиять на результат. Однако, реальный мир настолько многообразен и сложен, что все факторы, естественно, рассмотреть и учесть невозможно. Поэтому на практике выделяются только такие факторы, которые и составляют основу решаемости проблемы. Исследования и отбор наиболее существенных факторов, оказывающих влияние на решение поставленной проблемы и будем в дальнейшем определять как процесс моделирования.

Как отмечалось в гл. I область решаемых проблем (РП) с применением ГИС-технологий в основном связана с анализом состояния территориального образования и геосистем. Таким образом, формализованное описание подобных пространственных образований и выделение в них существенных факторов (свойств, параметров), оказывающих доминирующее влияние на процесс принятия заданного решения и составляет суть геоинформационного моделирования. При этом будем считать, что результатом такого описания является построение модели пространственного образования – геомодели, соответствующее решаемой проблеме.

ГИС-технологии представляют широкие возможности моделирования реального мира с целью проведения манипулирования, анализа и представления его составляющих – пространственных объектов и явлений. Каждая конкретная геомодель должна быть наиболее эффективной для той проблемы, на которую она ориентирована. Особенности ГИС позволяют применять в равной степени статические и динамические (меняющиеся во времени) модели. Одним из распространенных средств моделирования в ГИС является электронная карта, объединенная общим замыслом, упорядочением и согласованием (по единой математической основе, содержанию, нагрузке и условным знакам) совокупность картографических моделей, созданных на основе существующих карт, снимков и других источников.

ГИС позволяет *многовариантное* моделирование на всех стадиях и уровнях, например на уровне информационного обеспечения – путем использования различных массивов данных, на уровне отображения результатов моделирования – в различных формах картографических моделей.

Основу процессов обработки и анализа в ГИС составляет *цифровое моделирование*, позволяющее переходить к другим видам моделирования – векторным (топологическим и нетопологическим) и растровым моделям, моделям квадротомического дерева, буферизации, анализу сетей, построения цифровых моделей местности и пр. На основе перечисленных видов моделирования могут быть построены модели более высокого уровня обобщения: иерархические, сетевые и реляционные модели, инфологические и даталогические, концептуальные и пр. Особая роль в геоинформатике принадлежит сочетанию математических и картографических моделей. Для элементарных математико-картографических моделей предлагается следующая классификация:

- а) модели структуры явлений;
- б) модели взаимосвязей явлений;
- в) модели динамики распространения (развития) явлений.

Модели объектов, хранящихся в БД, формируются из простых частей – *моделей данных*, определяемых способами их организации. Модель данных является основой структуры БД, а их системно-организованное множество формирует единую информационную модель БД.

Модели данных могут быть вложенными друг в друга, самые нижние их уровни состоят из элементарных моделей данных.

В ГИС используются различные способы отображения реальности посредством моделей данных. Каждая модель пригодна для определенных типов данных и об-

ластей применения. Разнообразие задач и данных обуславливает множественность моделей, задающих *информационную основу* БД. Целостность, непротиворечивость общей модели ГИС обуславливается обоснованным выбором составляющих частей модели. Проблема структурирования базы данных сводится к оптимальной организации моделей объектов. При этом необходимо учитывать свойства элементарных моделей и возможность формирования из них комплексных объектов БД с учетом предметной области. Выбор недостаточно оптимальной модели организации пространственных данных может отразиться на выполнении функций ГИС и их расширения в будущем, на успешности проекта с экономической точки зрения, обеспечении ценности информации в долговременной перспективе, совместимости с другими БД. Обмен данными между различными ГИС не слишком большая проблема, если модели данных близки. В других случаях затраты на конвертирование сопоставимы с повторным вводом.

Проектирование структуры БД может рассматриваться как последовательность разработки моделей разного уровня: концептуальной и внешней (логическое проектирование), внутренней, отражающей структуру файлов (физическое проектирование) и модели конкретной БД.

Разработке концептуальной модели предшествует инфологическое (семантическое) моделирование, связанное с проблемами кодирования и лингвистического обеспечения (осуществляется на предпроектной стадии). При разнородности исходной информации роль семантического моделирования особенно актуальна.

Рассмотрение модели данных на концептуальном уровне организации данных предусматривает определение степени адекватности элементов выбранной модели действительным объектам реального мира в рамках требований решаемых задач. Стремление всестороннего охвата свойств, сторон и отношений в разрабатываемой модели необходимо сочетать с критериями ее оптимальности. Концептуальная модель данных служит для проектирования и выступает как средство точного выражения человеческих представлений о системах или процессах (предметной области) реального мира. Она включает описание объектов и их взаимосвязей, представляющих интерес в рассматриваемой предметной области и выявленных в результате анализа данных. При проектировании концептуальной модели усилия направлены на структуризацию данных без рассмотрения особенностей реализации и эффективности обработки. Реальным воплощением концептуального моделирования являются картографическая и математическая модели. Последняя из них крайне абстрактна и упрощена с использованием логико-математических средств.

Структурирование на уровне внешней модели данных базируется на концептуальной модели и направлено на повышение эффективности функционирования системы (ее быстродействия, экономии памяти и пр.).

Внутренний уровень определяет структуру и форматы файлов – их названий и организацию, последовательность, формы представления данных.

Уровень *организации конкретной структуры БД* (уникальной для каждого проекта) связан с даталогическим моделированием и предусматривает конкретизацию

объектов, внесенных в БД (например, их распределение между слоями, соотношение с используемыми классификаторами и пр.).

Прогресс компьютерных технологий и современные тенденции к созданию интеллектуальных систем, базирующихся на нетрадиционных методах и принципах (открытость систем, эвристическое программирование, структурирование знаний и пр.), способствуют развитию специфических видов моделирования: инвариантного, эвристического, информационного. Инвариантное моделирование эффективно в унифицированных структурах, на основе использования общих свойств объектов безотносительно к конкретному виду индивидуального объекта. Эвристическое моделирование используется при решении задач, связанных с экспертной оценкой, весьма актуальных в современных ГИС. Информационное моделирование связано с созданием и преобразованием разных форм информации, в частности может решить проблему совместного использования данных разного типа, например графических и текстовых.

Особенности ГИС – наличие множества технологий пространственного анализа данных. Один из видов анализа основан на рассмотрении объектов в связи с их нахождением относительно друг друга.

При послойном принципе организации данных для проведения анализа эффективны операции по изучению взаимоотношений, реализуемые на взаимодействии слоев (часто это Overlay). Взаимоотношения формируются в виде нового слоя, новые объекты которого содержат комбинацию исходных.

Анализ данных и моделирование составляют ядро ГИС-технологий. Некоторые авторы дифференцируют средства создания ГИС, выделяя среди них *аналитические* системы, ориентированные на обработку цифровых данных вне зависимости или учета их пространственного распространения, и *картографические* системы, предназначенные для непосредственного отображения реальности посредством картографического моделирования. Как разновидность аналитических рассматриваются *интеллектуальные* системы, предназначенные для комплексного анализа многофакторной пространственно привязанной информации. Интеллектуальные системы, содержащие элементы картографической ГИС, следует рассматривать как современный уровень интеграции различных ГИС-технологий.

Существуют различные классификации элементарных операций моделирования:

- 1) операции переструктуризации (из вектора в растр и наоборот, сжатие и развертка растровых данных);
- 2) трансформация проекций и координат;
- 3) вычислительная геометрия (расчет площадей, длин, координат центроидов полигонов, периметра и пр.);
- 4) оверлейные операции, сопровождающиеся наложением слоев с полигонами;
- 5) общеаналитические, граф-аналитические и моделирующие функции (расчет построения буферных зон, анализ сетей, цифровое моделирование рельефа).

Структура данных в ГИС может рассматриваться как отображение структуры исходной модели, т. е. на уровне сбора информации. Проблема оптимизации геоинформационного проектирования сводится к разработке эффективных методов

сбора и первичной обработки и созданию унифицированных моделей, пригодных для эффективного использования разных видов моделирования, в первую очередь аналитического. Создание унифицированных информационных моделей позволяет эффективно использовать разные виды моделирования.

Представляя структуру БД как совокупность моделей отдельных (более простых) объектов – моделей данных, можно выделить несколько уровней вложенности, когда более простые объекты являются составными частями более сложных. Предельный уровень деления в структуре – *элементарные (атомарные)* объекты, которые являются *элементарными моделями данных*. Элементарными объектами в БД являются:

- примитивы – точки, линии и контуры (ареалы или полигоны) – базовые геометрические типы моделей данных (аналоги примитивов САПР);
- поверхности (рельефы);
- ячейки регулярных пространственных сетей и элементов разрешения изображений.

Состав элементарных объектов может различаться в разных БД. Объекты точечного, линейного и площадного характера являются прямыми аналогами картографических объектов. Постоянные и временные группировки элементарных объектов образуют *неэлементарные* объекты. Если такая группировка имеет уникальный идентификатор, то она рассматривается как *индивидуальный объект*.

Для представления графических (позиционных) данных используются модели двух типов: *векторные модели* и *модели, связанные с делением пространства*. В первых, объекты аппроксимируются совокупностью точек и соединяющих их линий, во-вторых, положение объекта задается принадлежностью к некоему дискрету, элементу делимости пространства по регулярной или нерегулярной решетке. Распространенным вариантом модели второго типа является *растровая модель*, в которой элементом деления служит элемент разрешения цифрового изображения (пиксел), рассматриваемый как ячейка регулярной пространственной сети. Как альтернатива собственно растровой модели могут рассматриваться различные *ячеистые* (клеточные, матричные, решетчатые) *модели*, базирующиеся на соотношении данных, содержащихся в ячейках как регулярной, так и нерегулярной пространственной сети, а иногда – в элементах территории (территориальных ячеек). Отмечается структурное разнообразие таких моделей в связи с различной формой используемых мозаик (квадратных, треугольных, шестиугольных), например модель треугольной нерегулярной сети (TIN). В большинстве ячеистых моделей использован принцип растрового представления данных, что позволяет их относить к группе растровых моделей. Перечисленные группы моделей составляют основу визуального представления в ГИС и формируют ее графическую среду.

При векторном представлении в качестве элементарной модели данных используются последовательность координат, образующих линию. Точечные объекты при этом можно представить как выродившуюся линию (нулевой длины). Контур можно описать линией, замкнутой саму на себя. Преимущество векторной модели в том, что она организует пространство в любой последовательности

и дает «произвольный» доступ к данным, обеспечивая одновременно большую точность.

Схематически запись данных при векторном представлении для линии выглядит как последовательность координат точек X , Y , аппроксимирующих ее. Запись точечного объекта будет сведена к ее номеру (идентификатору) и паре координат (X, Y) . Подобное описание линейных объектов, отождествляемых с границами, контурами и элементами линейных сетей, не содержит аппарата описания топологических отношений между линейными объектами и является примером векторного *нетопологического представления*. Нетопологическое описание сопровождается некоторыми проблемами, в частности при описании смежных контуров, поскольку требует двойного описания соответствующих линейных объектов на участках смежности. Решение проблем достигается введением векторной топологической модели представления данных.

Векторная топологическая модель используется для хранения в записи взаимосвязей объектов, значительно расширяющих пространственно-аналитические возможности ГИС.

Топологическое описание определяется совокупностью *топологических моделей*, характеризующихся наличием комплексов взаимосвязей – топологических отношений (типа соединенности дуг на пересечениях, смежности между контурами и т. п.), хранящихся в БД совместно с координатными данными. Необходимость векторного топологического представления в значительной степени диктуется требованием описания контурных объектов.

Виды взаимосвязей и способы их записи при топологическом представлении зависят от разновидности применяемой топологической модели. Сведения о топологических моделях и их модификациях изложены в классификациях и обзорах структур данных.

Важность топологически и геометрически точных картографических покрытий особенно актуальна в БД. С помощью топологически точной, но геометрически неточной ГИС нельзя измерить расстояние и координаты, неполнота в описании элементов топологии не позволит определить взаимоотношения объектов. Использование качественного картографического покрытия в ГИС позволяет оперировать такими понятиями объектов (или их комбинаций), как длина, площадь, объем, форма (округлая, вытянутая, прямолинейная, изогнутая), регулярность (неправильная, угловатая, резко нерегулярная), ориентировка, центр, уклон.

При растровом представлении весь объект (территория) отображается как совокупность усредненных значений характеристик (цвет, оптическая плотность), полученных для участков поверхности объектов в пределах каждой ячейки регулярной пространственной сети. Растровая модель обеспечивает слияние позиционной и семантической атрибутики растрового слоя в одной прямоугольной матрице. Позиция объекта определяется столбцом и строкой, а семантика – значением (с неограниченным числом атрибутов) или кодом (идентификатором). Отпадает необходимость отдельного хранения семантики, подобно тому как это делается обычно в векторных моделях, что упрощает манипуляцию объектами и аналити-

ческие операции. Простота растрового представления оборачивается большими затратами памяти и необходимостью сжатия данных.

Принцип группового кодирования, характерный для традиционных растровых моделей, является не всегда самым эффективным. В многообъемных БД эффективен подход, основанный на ячеестом представлении данных. В качестве одной из них используется *модель квадратомического дерева*, когда разбивают территорию (изображение) на вложенные ячейки. Модель обеспечивает экономию объемов памяти и сокращение времени доступа, что обуславливает ее использование при многих видах тематического моделирования, что особенно важно при формировании больших географических БД, обеспечивая их бесшовность. Для трехмерного представления используют модель «октотомическое дерево».

Вышеописанные модели – растровая, векторная (топологическая и нетопологическая), квадратомическая и модель TIN – являются главными.

В ГИС информация о реальном мире относится к *индивидуализированным объектам* (аналогам картографических объектов) и к непрерывным в пространстве свойствам – *полям*. Объекты находятся в разных категориях и иерархиях, причем может быть не одна система их классификации. Выделяемые группировки объектов не могут быть абсолютными на все случаи жизни и зависят от стоящих задач, что обуславливает выбор существенного признака в принимаемой классификации. Для организации пространственных данных в ГИС общего назначения в качестве стандартных используются группировки, определяемые классификаторами объектов, однако получаемые структуры не всегда оказываются гибкими. Использование их иерархических структур сопровождается проблемами в организации связей с внешними СУБД, часто строящихся на реляционной модели.

Векторная модель наиболее оптимальна для формирования индивидуализированного объекта. Позиционная информация формирует его *графический образ* в ГИС. Индивидуализированные объекты в геометрическом смысле подразделяются на точечные (0), линейные (1), площадные (2) (в скобках указана *размерность* объектов, которая не тождественна *размерности пространства*). Геометрические типы индивидуализированных объектов находят прямую аналогию в картографии в виде точечных (внемасштабные условные знаки – маркеры), линейных и площадных объектов карт.

Методы геоинформатики, основанные на использовании общих свойств пространственной информации, неотделимы от традиционных методов и приемов, таких как картография, геология и т. д. «Карта – великолепное изобретение человечества, представляет собой... картографическую модель действительности, один из способов организации пространственной информации... Она близка по идеологии, но не эквивалентна послойной организации данных в ГИС».

Поскольку карте соответствует абстрактная математическая модель, ее объекты могут использоваться в качестве математических объектов и в ГИС: нульмерных (точечных множеств), одномерных – линейно протяженных объектов и двумерных (типа леса, озера). Карта – важнейший источник данных для формирования позиционной и содержательной частей БД в виде цифровых карт-основ

(для позиционных элементов) и набора тематических слоев данных, совокупность которых образует информационную основу ГИС. Оперирование или манипуляция объектами осуществляется на основе их *качественных и количественных характеристик* – атрибутов.

Растровые изображения отображают *поля данных*. Поля непрерывных признаков подразделяются на одномерные и многомерные, скалярные и векторные. Поля могут быть представлены в формах: непрерывной сети точек, изолиниями, регулярной модели и модели TIN.

Многие процедуры обработки и анализа в ГИС разработаны на методическом аппарате отраслей картографии и прикладной математики (например, трансформация картографических проекций, вычисление и расчет площадей, периметров, геометрических форм объектов и пр.).

В картографии и ГИС-технологиях (и информационных системах в целом) развиваются однотипные структурные принципы. Организация пространственных данных предусматривает несколько базовых форм структурирования на уровнях 1) концептуальной основы, 2) математического формализма и 3) типовых моделей и структуры данных.

Единая модель БД представляет собой абстракцию геоинформационных данных на земной поверхности или интегрированную информационную основу, отображаемую в виде инфологической модели. Инфологическая модель занимает особое положение по отношению к другим моделям и должна поддерживаться концептуальным представлением реальности в БД.

Специфика геопространственных данных, и именно их дифференциация на собственно пространственную (позиционную, координатную) и атрибутивную составляющие, обуславливает различные аспекты рассмотрения моделирования, базирующиеся на их индивидуальных особенностях и на взаимоотношении между ними. Следует различать:

- различные модели пространственных данных (имея в виду в значительной мере графическую (позиционную) компоненту);
- разные модели организации атрибутивных данных, рассматривая их без учета графической компоненты);
- разные модели отношений между пространственной (графической) и атрибутивной информацией.

Собственно пространственные данные, формирующие графическую среду ГИС, находят отражение в двух основных типах базовых моделей, основанных соответственно на использовании послойного принципа их организации и объектно-ориентированного (бесслоевого) подхода.

1. Принцип *послойной организации* информации заключается в создании серий тематических слоев, в каждом из которых сгруппированы определенные типы объектов, определяемые потребностями конкретных потребителей. Послойная организация данных интуитивно понятна и привычна, поскольку хорошо соотносится с приемами картографии. Объекты одного слоя образуют логически (и физически) отдельную единицу данных, собираются в отдельном файле/директории, име-

ют свою систему идентификаторов, с ним обращаются как с единым множеством или как частной моделью. Принцип имеет большой аналитический потенциал, что определяет его доминирование в ГИС.

Послойное представление векторных данных делает ГИС объектными. Поскольку они несут информацию об объектах, а не их элементах, слой представляет множество картографических моделей определенного типа. Используемая в ГИС многослойная организация электронной карты при наличии гибкого управления между слоями позволяет объединить и отобразить не только большое количество информации, но и значительно упростить анализ картографических данных с помощью селекции данных, обеспечивает решение задачи типизации и разбиения данных, повышает эффективность интерактивной обработки и групповой автоматизированной обработки, упрощает процесс хранения информации в БД, упрощает решение экспертных задач.

2. *Объектно-ориентированный подход* акцентирует внимание на положении каждого объекта в какой-либо сложной иерархической схеме классификации и на взаимоотношениях между объектами, не опираясь на фиксированные группировки объектов в слоях. Отображаются родственные и генетические отношения между объектами, их соподчиненность и функциональная связь между ними, благодаря чему группировки отвечают более частным свойствам, а используемый подход становится ближе к мышлению. Данный подход менее, чем послойный, распространен из-за трудностей организации системы взаимосвязей между объектами, больших трудозатрат на подготовительный период формирования конкретной структуры, а также сложностей изменения созданной структуры БД и приспособления к новым задачам.

Использование преимуществ обоих подходов возможно в модели, построенной на их симбиозе, когда каждый индивидуальный объект отображается в отдельном тематическом слое, что обеспечивает гибкость в установлении логических взаимосвязей, характерных для объектно-ориентированного подхода.

Эффективное использование данных обеспечивается программными средствами с функциями хранения, описания, обновления и обработки (анализа, моделирования и т. д.). В зависимости от формы представления данных, характеристик программной среды и используемых программ предлагаются различные формы организации хранения и доступа к данным. Способы организации позиционных и атрибутивных данных различаются.

Структура атрибутивных данных, рассматриваемая без учета графической компоненты, в значительной мере определяется особенностями используемой системы управления базами данных (СУБД).

Следует отметить, что хранение атрибутивной информации может вообще не применяться, если система опирается на классификатор. В большинстве других ГИС используют эффективные подходы к организации данных в виде БД, управляемых СУБД. В большинстве программных средств, используемых для создания ГИС, в число атрибутов, которыми оперирует СУБД, не входят геометрические атрибуты, описывающие геометрию и, возможно, топологию. Обычно векторные

записи координат объектов организуются с помощью особых средств, описанных в разделе «Модели представления графической информации», а связь геометрии с содержанием (атрибутивными характеристиками) осуществляется на уровне СУБД посредством индивидуальных идентификаторов объектов.

СУБД различаются по типам поддерживаемых моделей данных – *иерархические, сетевые и реляционные*. Иерархическая модель хороша для отображения взаимоотношений между классами объектов, т. е. для «застывшей» структуры, построенной на взаимном подчинении, сетевая модель обеспечивает большую свободу при установлении связей между объектами различных уровней иерархии. Однако ряд недостатков сдерживает использование иерархических и сетевых моделей.

Множество и разнообразие отношений (связей) между объектами ГИС определяет эффективность реляционных моделей и БД, хотя иерархические в ГИС иногда оказываются предпочтительнее. Реляционная модель обеспечивает простоту структуры данных, удобна для пользователя табличным представлением, возможностью операций реляционной алгебры и перспективна в системе представления знаний.

Функциональные возможности реляционных СУБД разнообразны и включают следующие операции: добавить, сортировать, отобразить, изменить, поименовать, указать, сохранить, уничтожить, объединить несколько таблиц на основе *пересечения и разности*, соединения (склеивания) таблиц с общими полями. Манипулирование, базирующееся на запросах SQL, также широко развито в СУБД. Атрибутивное описание обеспечивает анализ объектов БД (с использованием запросов и фильтров), позволяет типизировать данные, упорядочивать описание для широкого набора некоординатных данных.

Существует три модели взаимоотношения атрибутивной и позиционной составляющих БД, соответствующие разным подходам к взаимодействию ГИС с БД: 1) геореляционная (гибридная, или смешанная), 2) интегрированная и 3) объектная (модель, построенная с позиций объектного подхода).

Геореляционная (гибридная, или смешанная) модель имеет место тогда, когда пространственная и атрибутивная компоненты организованы каждая по-своему, а связи осуществляются через идентификатор. Пространственная компонента – метрическая (в некоторых – и топологическая) хранится в своих файлах (файлах графических объектов), а атрибутивная компонента организована в таблицы, управляемые СУБД.

Информационное обеспечение ГИС объединяет геоинформационные и тематические данные и включает в себя базы данных, экспертные системы и базы правил. Совокупность программных средств, обеспечивающих функционирование базы данных, называется системой управления базой данных (СУБД). СУБД бывают реляционного, иерархического и сетевого типа. В ГИС чаще всего используются реляционные базы данных, хотя иерархические базы данных использовать предпочтительнее.

Особенности ГИС – большие объемы обрабатываемой пространственно-временной информации определяют специфику организации и структурирования данных. В БД ГИС существует много способов структурирования данных, связан-

ных с использованием различных моделей представления геопространственных данных, а также моделей их взаимоотношений.

Выбор способа организации данных в БД определяет многое. Выбранная модель часто определяет функциональные возможности ГИС, для определенных типов организации данных реализация некоторых функций невозможна либо осуществляется проведением чрезмерно сложных манипуляций с данными. Таким образом, структура БД в первую очередь связана с проблемами, функциями, задачами, вытекающими из назначения ГИС. Особенности графической среды, формируемой в БД посредством моделей представления данных, в значительной мере определяют структуру БД ГИС. Программно-аппаратные аспекты, определяющие возможности применяемых технологий, придают дополнительные особенности структуре БД.

Описание пространственных объектов предполагает указание их позиционной и содержательной определенности (по аналогии с метрической и специальной нагрузкой карт), что выражено наличием двух структурных компонент БД ГИС. Терминологическая неоднозначность, закладываемая разными исследователями в понятия этих компонент, показана в табл. 2.

Табл. 2. Терминология понятий позиционной и содержательной компонент данных

| Позиционная | Содержательная | Компонента БД, источник |
|--|--|-------------------------|
| Метрические характеристики | Специальная тематическая нагрузка | Информация карт |
| Территориальный (позиционный) | Отраслевой (тематический) | Блоки |
| Метрическая | Тематическая | Информация |
| Идентификационная | Классификационная | Информация |
| Информация положения и формы (пространственная в узком смысле) | Атрибутивная (описательная) | Информация |
| Позиционная (геометрическая или тополого-геометрическая) | Содержательная (таблично-атрибутивная) | Информация |

Позиционное описание объекта формируется как совокупность их числовых координат и прочих пространственных характеристик (пространственных атрибутов). В БД эти характеристики (геометрические, метрические, тополого-геометрические и пр.) организованы в структуры – модели пространственных данных, которые в свою очередь связываются отношениями с содержательными (семантическими) характеристиками – непространственными атрибутами объекта (числовыми, текстовыми значениями величин, описывающих их сущность). Позиционная компонента БД составляет основу визуального представления – графическую среду ГИС – и представляет в БД графическую информацию.

В БД, оперирующих временными категориями, может использоваться трехкомпонентная структура данных:

- атрибутивные сведения – описание сущности, характеристик, переменных, значений классификаций и пр.;
- географические сведения – описание положения в пространстве и относительно других данных;
- временные сведения.

СУБД бывает *встроенной* в ГИС в качестве подсистемы или *внешней*. Существует тенденция дорабатывать ГИС к существующим под управлением СУБД большим БД, т. е. добавления пространственных компонент к традиционным БД.

В *интегрированной* ГИС средства реляционных СУБД используются для хранения как графической, так и атрибутивной информации. ГИС выступает в данном случае как бы надстройкой СУБД, включающей в качестве начальных (исходных) таблиц – таблицы с позиционными атрибутами (координатами, параметрами точности и пр.) отдельных элементарных объектов – точек и линий, формирующих графические образы пространственных объектов. С этими первичными таблицами посредством СУБД оказывается связанной вся система таблиц содержательных характеристик (атрибутов) объектов. Интегрированные ГИС удобны для крупных хранилищ информации в активном многопользовательском режиме, когда обеспечивается целостность данных. Сдерживающим фактором их повсеместного применения являются сложности использования реляционных СУБД для работы с пространственными объектами, отличными от точечных (линейными и контурными объектами).

Наиболее распространенными и известными являются СУБД Access и СУБД ORACLE. СУБД Microsoft Access для Windows представляет собой не только функционально полную систему управления базами данных, но и дополнение к другим программным продуктам, работающим с базами данных. Одним из преимуществ Access является возможность работы с данными других источников, включая наиболее популярные СУБД для персональных компьютеров (dBase, Paradox, FoxPro, Vtrieve), множество других баз данных, поддерживающих ODBC (Open Database Connectivity – открытая соединяемость баз данных), включая Microsoft SQL Server, Oracle, DB2 и Rdb. Кроме того, поддерживая OLE 2.0, Access полностью интегрирована с другими приложениями пакета Microsoft Office: Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft PowerPoint и др.

К числу наиболее мощных средств Access относятся средства разработки объектов – мастера (Wizard), которые можно использовать для создания таблиц, запросов, форм и отчетов различных типов, просто выбрав с помощью мыши нужные опции. Используя Access, можно создавать большинство приложений, не написав ни одной строчки кода. Наряду с этим возможности, предоставляемые языком Visual Basic for Applications (VBA), позволяют создавать приложения любой степени сложности.

База данных в MS Access представляет собой совокупность инструментов для ввода, хранения, просмотра, выборки и управления информацией. К этим средствам относятся таблицы, формы, отчеты, запросы. В MS Access поддерживаются два способа создания базы данных. Вы можете создать пустую базу данных, а затем добавить в нее таблицы, формы, отчеты и другие объекты. Такой способ является наиболее гибким, но требует отдельного определения каждого элемента базы дан-

ных. Кроме этого, имеется возможность создать с помощью мастера базу данных определенного типа со всеми необходимыми таблицами, формами и отчетами. Так как MS Access содержит большой выбор подготовленных для вас баз данных, второй способ во многих случаях может оказаться предпочтительным. В обоих случаях у вас останется возможность в любое время изменить и расширить созданную вами базу данных.

СУБД Access предоставляет необходимые средства для работы с базами данных неискушенному пользователю, позволяя ему легко и просто создавать базы данных, вводить в них информацию, обрабатывать запросы и формировать отчеты.

Несомненным достоинством пакета Access является то, что, сочетая гибкость и мощность с простотой изучения и использования, он одинаково подходит как простым пользователям, так и профессионалам.

Архитектура, лежащая в основе сервера ORACLE, полностью реализует преимущества открытых систем и является дальнейшим развитием ставшей уже традиционной технологии «клиент – сервер». ORACLE предоставляет широчайший набор возможностей, для создания прикладных информационных систем:

Различного масштаба – от однопользовательских систем и систем уровня небольшого подразделения до глобальных межрегиональных распределенных систем обработки информации.

Различного назначения – от систем, ориентированных на работу в реальном масштабе времени (On-Line Transaction Processing – OLTP), и заканчивая системами поддержки принятия решений (Decision Support Systems – DSS) и системами, основанными на концепциях «хранилищ данных» (Data Warehouse).

ORACLE соответствует самым строгим требованиям, предъявляемым сегодня к системам хранения и обработки информации.

Работает и обеспечивает масштабируемость и переносимость разработанных на ее основе прикладных систем более чем на ста аппаратных и операционных платформах, начиная с персональных компьютеров и заканчивая большими машинами и многопроцессорными компьютерами с симметричной параллельной (SMP) и массивно-параллельной архитектурой (MPP). Поддерживает кластерную архитектуру.

Обеспечивает реальную поддержку многопроцессорных платформ (распараллеливание построения индексов, сортировки, запросов, копирования и восстановления данных). При этом при увеличении количества процессоров обеспечивается практически линейный рост производительности.

Обладает исключительными возможностями по совместному использованию различных аппаратных, операционных, сетевых платформ и позволяет объединить все информационные системы предприятия в единую интегрированную вычислительную среду.

Позволяет организовать распределенное хранение и обработку данных (системы, основанные на двухфазной фиксации транзакции, системы, основанные на асинхронной асимметричной репликации данных, системы, основанные на асинхронной симметричной репликации данных).

Обеспечивает средства для бесперебойной промышленной эксплуатации (24 часа в сутки, 365 дней в году) и поддержку для работы с очень большими объемами данных (до нескольких терабайтов).

Обеспечивает автоматическую защиту от сбоев, случайных повреждений данных и несанкционированного доступа. Восстановление системы после сбоев, не повлекших за собой физического повреждения внешних магнитных носителей, осуществляется автоматически во время повторного запуска ядра ORACLE.

Поддерживает все основные промышленные стандарты. Обеспечивает мощные декларативные ограничения. Процедурные возможности позволяют работать с хранимыми процедурами, функциями, алертами, триггерами, пакетами процедур.

Включает в себя мощные утилиты, обеспечивающие загрузку данных из внешних файлов в таблицы, копирование и восстановление данных, перемещение данных из одной базы данных в другую, управление использованием дискового пространства.

Автоматически обеспечивает коллективный доступ к данным. Имеет встроенный высокоэффективный механизм блокировок, на уровне отдельной строки таблицы (как для собственно данных, так и для индексов).

Обеспечивает оптимизацию дискового ввода/вывода.

Обеспечивает интеллектуальную оптимизацию запросов на основе анализа автоматически собираемой статистической информации о числе строк в таблице, наличии и селективности имеющихся индексов.

Поддерживает пользовательские расширения языка SQL (разработчик имеет возможность писать на PL/SQL собственные пользовательские функции. В дальнейшем на такие функции можно ссылаться в выражениях SQL, как если бы они были его встроенными функциями).

Поддерживает динамический SQL.

Обеспечивает возможность ограничения доступных пользователю ресурсов (администратор может контролировать и ограничивать ресурсы: время доступа, операции ввода/вывода, потребление процессорного времени для каждого конкретного пользователя).

Обеспечивает определение привилегий и прав доступа на основе механизма «ролей» (в основе данного механизма лежит понятие «роли» – некоторой именованной группы привилегий). На основе ролей можно группировать различные привилегии доступа и затем назначать их конкретным пользователям (группам пользователей) или другим ролям.

Обеспечивает полную поддержку национальных языков (включая русский). Механизм поддержки национальных языков ORACLE обеспечивает: сортировку по национальному алфавиту, общепринятые национальные форматы представления данных (числовых, календарных, денежных), преобразование символьных данных из верхнего регистра в нижний и наоборот, системные сообщения и подсказки на национальном языке. В случае неоднородной языковой среды (использования разных кодировок в различных узлах) преобразование данных выполняется автоматически.

Высокая надежность является одним из самых общих требований, предъявляемых к любой реально работающей информационной системе. Заметим, что обеспечение любого решения с повышенной надежностью не является исключительной функцией только аппаратных или только программных средств, а реализуется ими совместно. ORACLE поддерживает практически весь спектр таких решений:

- использование реализуемых на аппаратном или системном уровне зеркальных дисков;
- поддержание актуальной копии базы данных на резервном сервере;
- работа в архитектуре с параллельными серверами (многомашинные кластеры);
- использование в качестве серверов баз данных отказоустойчивых компьютеров, например таких как Sequoia или Stratus.

Наиболее часто используемым и эффективным решением, одновременно обеспечивающим очень высокую надежность и производительность, является решение, основанное на использовании многомашинных кластеров (параллельных серверов). В конфигурации параллельного сервера все объединенные в него компьютеры имеют прямой доступ к общему множеству дисков, на котором хранится общая для всех них база данных. Объединение параллельных серверов реализуется с помощью специальных аппаратных и системных решений фирмы - производителя компьютера и специальных программных средств фирмы ORACLE - ORACLE Parallel Server Option.

3.3. Нечеткие множества

Пожалуй, наиболее поразительным свойством человеческого интеллекта является способность принимать правильные решения в обстановке неполной и нечеткой информации. Построение моделей приближенных рассуждений человека и использование их в компьютерных системах представляет сегодня одну из важных задач развития ГИС, особенно по применению их в различных сферах управления.

Значительное продвижение в этом направлении сделано 30 лет тому назад профессором Калифорнийского университета (Беркли) Лотфи А. Заде (Lotfi A. Zadeh). Его работа «Fuzzy Sets», появившаяся в 1965 г. в журнале Information and Control, № 8, заложила основы моделирования интеллектуальной деятельности человека и явилась начальным толчком к развитию новой математической теории.

Что же предложил Заде? Во-первых, он расширил классическое канторовское понятие множества, допустив, что характеристическая функция (функция принадлежности элемента множеству) может принимать любые значения в интервале $(0; 1)$, а не как в классической теории только значения 0 либо 1. Такие множества были названы нечеткими (*fuzzy*).

Им были также определены операции над нечеткими множествами и предложены обобщения известных методов логического вывода.

Рассмотрим некоторые основные положения теории нечетких множеств.

Пусть E - универсальное множество, x - элемент E , а R - некоторое свойство. Обычное (четкое) подмножество A универсального множества E , элементы кото-

рого удовлетворяют свойству R , определяется как множество упорядоченных пар $A = \{\mu_A(x)/x\}$, где

$\mu_A(x)$ – характеристическая функция, принимающая значение 1, если x удовлетворяет свойству R , и 0 – в противном случае.

Нечеткое подмножество отличается от обычного тем, что для элементов x из E нет однозначного ответа «да – нет» относительно свойства R . В связи с этим нечеткое подмножество A универсального множества E определяется как множество упорядоченных пар $A = \{\mu_A(x)/x\}$, где

$\mu_A(x)$ – характеристическая функция принадлежности (или просто функция принадлежности), принимающая значения в некотором вполне упорядоченном множестве M (например, $M = [0, 1]$). Функция принадлежности указывает степень (или уровень) принадлежности элемента x подмножеству A . Множество M называют множеством принадлежностей. Если $M = \{0, 1\}$, то нечеткое подмножество A может рассматриваться как обычное или четкое множество.

Пусть $M = [0, 1]$ и A – нечеткое множество с элементами из универсального множества E и множеством принадлежностей M .

Величина $\sup_{x \in E} \mu_A(x)$ называется **высотой** нечеткого множества A . Нечеткое множество A **нормально**, если его высота равна 1, т. е. верхняя граница его функции принадлежности равна 1 ($\sup_{x \in E} \mu_A(x) = 1$). При $\sup_{x \in E} \mu_A(x) < 1$ нечеткое множество называется **субнормальным**.

Нечеткое множество **пусто**, если $\forall x \in E \mu_A(x) = 0$. Непустое субнормальное множество можно нормализовать по формуле

$$\mu_A(x) = \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in E} \mu_A(x)}.$$

В приведенных выше примерах использованы **прямые** методы, когда эксперт либо просто задает для каждого $x \in E$ значение $\mu_A(x)$, либо определяет функцию совместимости. Как правило, прямые методы задания функции принадлежности используются для измеримых понятий, таких как скорость, время, расстояние, давление, температура и т. д., или когда выделяются полярные значения.

Косвенные методы определения значений функции принадлежности используются в случаях, когда нет элементарных измеримых свойств, через которые определяется интересующее нас нечеткое множество. Как правило, это методы попарных сравнений. Если бы значения функций принадлежности были нам известны, например $\mu_A(x_i) = w_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, то попарные сравнения можно представить матрицей отношений $A = \{a_{ij}\}$, где $a_{ij} = w_i/w_j$ (операция деления).

На практике эксперт сам формирует матрицу A , при этом предполагается, что диагональные элементы равны 1, а для элементов, симметричных относительно диагонали, $a_{ij} = 1/a_{ji}$, т. е. если один элемент оценивается в α раз выше чем другой, то этот последний должен быть в $1/\alpha$ раз сильнее. В общем случае задача сводится к поиску вектора w , удовлетворяющего уравнению вида $A * w = l_{\max} * w$, где l_{\max} – наибольшее собственное значение матрицы A .

Введение понятия лингвистической переменной, и допущение, что в качестве ее значений (термов) выступают нечеткие множества, фактически позволяет создать аппарат описания процессов интеллектуальной деятельности, включая нечеткость и неопределенность выражений.

Поскольку матрица A положительно-определенная по построению, решение данной задачи существует при принятом значении (λ) и является положительным.

Нечеткая переменная характеризуется тройкой $\langle \alpha, X, A \rangle$, где

α – наименование переменной;

X – универсальное множество (область определения α);

A – нечеткое множество на X , описывающее ограничения (т. е. $\mu_A(x)$) на значения нечеткой переменной α .

Лингвистической переменной называется набор $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$, где

β – наименование лингвистической переменной;

T – множество ее значений (терм-множество), представляющих собой наименования нечетких переменных, область определения каждой из которых является множеством X . Множество T называется базовым терм-множеством лингвистической переменной;

G – синтаксическая процедура, позволяющая оперировать элементами терм-множества T , в частности генерировать новые термы (значения). Множество $T \cup G(T)$, где $G(T)$ – множество сгенерированных термов, называется расширенным терм-множеством лингвистической переменной;

M – семантическая процедура, позволяющая превратить каждое новое значение лингвистической переменной, образуемое процедурой G , в нечеткую переменную, т. е. сформировать соответствующее нечеткое множество.

Введя понятие лингвистической переменной и допуская, что в качестве ее значений (термов) выступают нечеткие множества, фактически позволяет создать аппарат описания процессов интеллектуальной деятельности, включая нечеткость и неопределенность выражений.

3.4. Методы оптимизации

Задача выбора оптимального решения относится к классу задач математического программирования, в основе которых лежит поиск безусловного и условного экстремума. Так, задачи максимизации прибыли в экономике, или минимизации ущерба при стихийном бедствии, или выбора кратчайшего маршрута при минимизации транспортных потерь и т. д. – все в конечном итоге сводятся к максимизации (или минимизации) целевых функции при условии заданных ограничений.

Таким образом, задачи поддержки принятия решений, относящиеся к одним из основных при моделировании в ГИС, в той или иной степени связаны с выбором целевых функций и математическим программированием.

3.4.1. Линейное программирование

Одним из наиболее эффективных и распространяемых способов поиска условного экстремума является линейное программирование. В задаче линейного программирования целевая функция и система задаваемых ограничений линейны относительно вектора решения x . Область допустимых решений представляет собой выпуклый многогранник, имеющий конечное число вершин. Процедура поиска решения заключается в переходе от одной вершины к другой, так чтобы значение функции увеличивалось (или уменьшалось). Процедура поиска завершается в случае, когда из текущей вершины будет невозможен переход, связанный с «улучшением» целевой функции. Для решения задачи линейного программирования был разработан метод, получивший название симплекс-метод.

Важным случаем линейного программирования является транспортная задача, которая также может быть принципиально решена симплекс-методом. Однако для учета специфики условий ограничений транспортную задачу целесообразно решать методом потенциалов, который является модификацией симплекс-метода.

Постановка задачи линейного программирования

Найти максимум функции

$$f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \Rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$\sum_j a_{ij} x_j = b_i, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$x_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n.$$

Такая форма задачи линейного программирования называется *канонической формой*.

Не ограничивая общности, можем считать, что все числа $b_i > 0, i = 1, \dots, m$. Этого можно добиться, умножая ограничения, где $b_i > 0$, на -1 .

Множество допустимых решений задачи

$$X = \{x \mid \sum_j a_{ij} x_j = b_i; i = 1, \dots, m; x_j \geq 0; j = 1, \dots, n\}$$

есть выпуклое множество, которое геометрически представляет собой выпуклый многогранник, имеющий конечное число крайних точек.

Крайней точкой выпуклого множества X называется точка $x \in X$, которая не может быть выражена в виде выпуклой комбинации других точек $y \in X, x \neq y$.

Множество крайних точек многогранника X соответствует множеству допустимых базисных решений системы, и при этом одному базисному решению соответствует одна крайняя точка многогранника.

Если функция $f(x)$ в задаче линейного программирования достигает максимума на многограннике X , определяемом ограничениями, то она достигает его по крайней мере в одной крайней точке этого многогранника. Если она достигает его в нескольких крайних точках, то она достигает его на любой выпуклой комбинации этих крайних точек. Это утверждение определяет стратегию решения задачи, ре-

ализованную с помощью симплекс-метода, т. е. направленный перебор базисных решений, определяющих крайние точки многогранника. Направленность перебора предполагает следующую организацию вычислительного процесса.

1. Определение начального базисного решения.
2. Переход от одного базисного решения к другому таким образом, чтобы обеспечить возрастание целевой функции $f(x)$.

3.4.2. Задача безусловной оптимизации

Общая постановка задачи безусловной оптимизации представляется следующим образом.

Дана дважды непрерывно дифференцируемая функция $f(x)$, определенная на множестве R^n . Требуется исследовать функцию $f(x)$ на экстремум, т. е. определить точки $x^* \in R^n$ ее локальных минимумов и максимумов.

Подавляющее большинство численных методов оптимизации относится к классу итерационных, т. е. порождающих последовательность точек в соответствии с предписанным набором правил, включающим критерий окончания. При заданной начальной точке x^0 методы генерируют последовательность x^0, x^1, x^2, \dots . Преобразование точки x^k в x^{k+1} представляет собой k -ую итерацию.

Для определенности рассмотрим задачу поиска безусловного локального минимума:

$$f(x^*) = \min_{x \in R^n} f(x).$$

Численное решение этой задачи, как правило, связано с построением последовательности $\{x^k\}$ точек, обладающих свойством убывания целевой функции:

$$f(x^{k+1}) < f(x^k), k = 0, 1 \dots$$

Общее правило построения последовательности $\{x^k\}$ имеет вид

$$x^{k+1} = x^k + t_k d^k, k = 0, 1, \dots,$$

где точка x^0 – начальная точка поиска; d^k – приемлемое направление перехода из точки x^k в точку x^{k+1} , обеспечивающее выполнение свойства убывания целевой функции и называемое *направлением спуска*; t_k – *величина шага*.

Начальная точка поиска x^0 задается исходя из физического содержания решаемой задачи и наличия априорной информации о положении точек экстремума.

Приемлемое направление спуска d_k должно удовлетворять условию $(\nabla f(x_k), d_k) < 0, k = 0, 1, \dots,$

где $\nabla f(x)$ – градиент непрерывно-дифференцируемой функции в точке x , обеспечивающему убывание целевой функции $f(x)$. Примером приемлемого направления спуска является направление вектора антиградиента:

$$d^k = -\nabla f(x^k).$$

Величина шага $t_k > 0$ выбирается либо из свойства убывания целевой функции, либо из условия минимума целевой функции вдоль направления спуска:

$$f(x^k + t_k d^k) \rightarrow \min_{t_k}$$

Выбор шага t_k из последнего условия делает спуск в наискорейшем направлении.

В зависимости от наивысшего порядка частных производных функции $f(x)$, используемых для формирования a^k , численные методы решения задачи безусловного экстремума принято делить на две группы.

1. **Методы нулевого порядка**, использующие только информацию о значении функции $f(x)$.
2. **Методы первого порядка**, использующие информацию о первых производных функции $f(x)$.

3.4.3. Задача условной оптимизации

Общая постановка задачи условной оптимизации представляются следующим образом.

Даны дважды непрерывно дифференцируемая целевая функция $f(x) = f(x_1, \dots, x_n)$ и функции ограничений $g_j(x) = g_j(x_1, \dots, x_n)$, $j = 1, \dots, m$, определяющие множество допустимых решений X . Требуется исследовать функцию $f(x)$ на экстремум, т. е. определить точки $x^* \in X$ ее локальных минимумов и максимумов на множестве X .

$$f(x^*) = \min_{x \in X} f(x) \text{ или } f(x^*) = \max_{x \in X} f(x)$$

где $X = \{\bar{x} / g_j(\bar{x}) = 0, j = 1 \div p, p \leq n \text{ и (или) } g_j(\bar{x}) \leq 0, j = (p \pm 1) \div m\}$;
 p, m – целые числа.

При условии $m > p$ рассматриваемая задача является общей задачей, и она называется задачей со *смешанными ограничениями*.

При $m = p$ задача преобразуется в задачу с *ограничениями типа равенств*. В этом случае множество допустимых решений X имеет следующий вид.

$$X = \{x | g_j(x) = 0, j = 1, \dots, m; m < n\}.$$

При $p = 0$ задача преобразуется в задачу с *ограничениями типа неравенств*. Первый называется методом штрафов (внешних штрафов). В этом методе к целевой функции добавляется функция, интерпретируемая как штраф за нарушение каждого из ограничений. Метод генерирует последовательность точек, которая сходится к решению исходной задачи.

Второй подход называется методом барьеров (внутренних штрафов). Здесь к целевой функции исходной задачи добавляется слагаемое, которое не позволяет генерируемым точкам выходить за пределы допустимой области.

Третий подход связан с добавлением штрафной функции не к целевой функции, а к ее функции Лагранжа. В результате возникает модифицированная функция Лагранжа, а методы, использующие эту функцию, называются методами множителей.

Четвертый подход базируется на введении так называемых точных штрафных функций, позволяющих ограничиться решением лишь одной задачи безусловной минимизации.

К описанной группе методов относятся метод проекции градиента и метод возможных направлений Зойтендейка. В методе Зойтендейка на каждой итерации строится возможное направление спуска и затем проводится оптимизация вдоль этого направления.

3.5. Теория игр

Теория игр представляет собой математическую теорию конфликтных ситуаций, а следовательно может успешно использоваться для интеллектуализации процесса анализа геоданных и принятия решений. Ее цель – выработка рекомендаций по рациональному поведению участников конфликта. При этом в качестве участников конфликта (игры) могут выступать как различные объекты и явления материального мира: технические системы, физические явления, объекты живой и неживой природы и т. д., так и абстрактные понятия, например: формализованные признаки, математические критерии и т. д.

Каждая непосредственно взятая из практики конфликтная ситуация очень сложна. Чтобы сделать возможным математический анализ конфликта, строится его математическая модель. Такая модель называется игрой.

От реального конфликта игра отличается тем, что ведется по определенным правилам. Эти правила указывают права и обязанности участников, а также исход игры – выигрыш или проигрыш каждого участника в зависимости от сложившейся обстановки.

Матрица решений

Принятие решений в теории игры представляет собой выбор одного из некоторого множества рассматриваемых вариантов E_i при различных внешних условиях (состояниях) F_j . Условимся, прежде всего, что каждым вариантом E_i при конкретных условиях F_j однозначно определяется некоторый результат e_{ij} . Под результатом решения e_{ij} можно понимать оценку, соответствующую варианту E_i и условиям F_j и характеризующую экономический эффект (прибыль), полезность или надежность и т. д. Обычно мы будем называть такой результат *полезностью решения*.

Семейство решений описывается некоторой матрицей решений E .

| | F_1 | F_2 | ... | F | ... | F_n |
|-------|----------|----------|-----|----------|-----|----------|
| E_1 | e_{11} | e_{12} | ... | e_{1j} | ... | e_{1n} |
| E_2 | e_{21} | e_{22} | ... | e_{2j} | ... | e_{2n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| E_i | e_{i1} | e_{i2} | ... | e_{ij} | | e_{in} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| E_m | e_{m1} | e_{m2} | | e_{mj} | | e_{mn} |

Оценочная функция

Чтобы прийти к однозначному и, по возможности, невыгоднейшему варианту решения даже в том случае, когда каким-то вариантам решений E_i могут соответствовать различные условия F_j , можно ввести подходящие оценочные (целевые) функции. При этом матрица решений e_{ij} будет сводиться к одному столбцу матрицы E . Каждому варианту E_i приписывается, таким образом, некоторый результат e_{ij} , характеризующий в целом все последствия этого решения.

Существует множество критериев принятия решений для построения оценочных функций.

1. Минимаксный критерий (ММ):

$$Z_{MM} = \max_i e_{ij};$$

$$e_{ir} = \min_j e_{ij}.$$

Минимаксный критерий соответствует позиции крайней осторожности. Выбранные таким образом варианты полностью исключают риск. Это означает, что принимающий решение не может столкнуться с худшим результатом, чем тот, на который он ориентируется. Какие бы условия F_j ни встретились, соответствующий результат не может оказаться ниже Z_{MM} . Это свойство заставляет считать минимаксный критерий одним из фундаментальных. Поэтому он применяется чаще всего, как сознательно, так и несознательно. Однако положение об отсутствии риска стоит различных потерь. В многочисленных практических ситуациях пессимизм минимаксного критерия может оказаться очень невыгодным.

Применение ММ-критерия бывает оправданно, если ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами.

- О возможности появления внешних состояний F_j ничего не известно.
- Приходится считаться с появлением различных внешних состояний F_j .
- Решение реализуется лишь один раз.
- Необходимо исключить какой бы то ни было риск, т. е. ни при каких условиях F_j не допускается получать результат меньший, чем Z_{MM} .

2. Критерий Байеса – Лапласа (BL):

$$Z_{BL} = \max_i e_{ir};$$

$$e_{ir} = \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j;$$

$$\sum_{j=1}^n q_j = 1,$$

где q_j – вероятность появления внешнего состояния F_j . Применение критерия Байеса – Лапласа бывает оправданно, если ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами.

- Вероятности появления состояний F_j известны и не зависят от времени.
- Решение реализуется (теоретически) бесконечно много раз. Причем при полной (бесконечной) реализации риск теоретически исключен. BL – критерий оптимистичнее, чем в случае применения ММ – критерия, однако он предполагает более высокие требования к уровню информированности и длине реализации.
- Для малого числа реализаций решения допускается некоторый риск.

3. Критерий произведений:

$$Z_p = \max, e_{ir};$$

$$e_{ir} = \prod e_{ij}, \text{ где } e_{ij} > 0.$$

С самого начала этот критерий ориентирован на величины выигрышей, т. е. на получение положительных значения e_{ir} .

Применение этого критерия обусловлено следующими обстоятельствами.

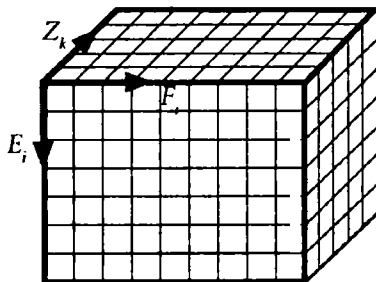
- Вероятности появления состояний F_j неизвестны.
- С появлением каждого из состояний F_j по отдельности, необходимо считаться.
- Критерий применим и при малом числе реализаций решения.
- Некоторый риск допускается.

Если не все значения e_{ir} положительны, то следует выполнить некоторый сдвиг $e_{ir} + a$ с некоторой константой $a > \min e_{ir}$. Разумеется, результат применения критерия существенно зависит от этого значения a . На практике в качестве значения a часто используют величину $1 + \min e_{ij}$. Существует ряд других критериев.

3.6 Многоцелевые решения

На практике задачи, где критерий оценки однозначно диктуется оценочной функцией, встречаются не так часто – преимущественно при рассмотрении небольших по масштабу и скромных по значению мероприятий. Когда речь идет о крупномасштабных, сложных операциях, затрагивающих разнообразные интересы их организаторов и общества в целом, то их эффективность, как правило, не может быть полностью охарактеризована с помощью одного единственного показателя эффективности и приходится привлекать другие целевые признаки. Такие задачи называются *многоцелевыми*.

Для принятия решения в таких задачах нередко применяется так называемый способ составления обобщенного показателя эффективности. В этом случае, на основе K конкурирующих целей получают трехмерную матрицу решений $\|e_{ijk}\|$, $k=1, \dots, K$, где e_{ijk} – полезность при состоянии исходных данных и варианте решения F_j применительно к цели Z_k .



Каждая из K двумерных матриц определяется по известным $\|e_{ijk}\|$ оценочным функциям. В результате для каждой матрицы при определенном k получают свой локальный вариант решения E_{ok} . Таким образом, множество вариантов решения:

$$E_0 = \bigcup_{k=1}^K E_{0k}$$

может состоять из единственного варианта, и в этом случае задача решается однозначно. Если множество вариантов решения существенно ограничено, то оптимальный вариант может быть выбран субъективно.

Если не удастся прийти к определенному решению уже на этой стадии, то следует сначала пронормировать реализацию цели для каждого состояния F_j , например, следующим образом:

$$r_{ik} = (Z_{ik} - \min Z_{ik}) / (\max Z_{ik} - \min Z_{ik})$$

$$\text{или } r_{ik} = Z_{ik} / \max Z_{ik}$$

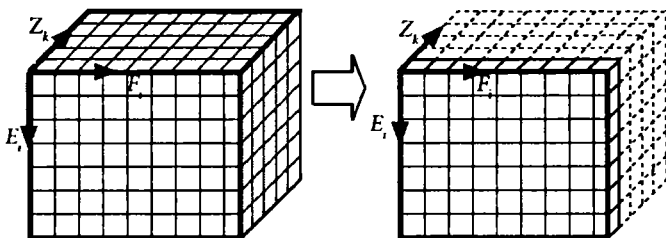
$$\text{или } r_{ik} = Z_{ik} / Z_{hk}$$

где Z_{ik} – k -е значение цели варианта E_i при состоянии F_j , r_{ik} – степень реализации k -й цели варианта E_i при состоянии F_j , Z_{hk} – базовая величина цели.

При субъективно устанавливаемых весах целей g_k удастся получаемую двумерную матрицу $\|r_{ik}\|$ преобразовать в один вектор для каждого состояния F_j . Компоненты этого вектора определяются аддитивным сочетанием взвешенных степеней реализации:

$$r_i = \left(\sum_{k=1}^k r_{ik} g_k \right) \cdot k$$

Векторы r_i для всех состояний F_j можно теперь интерпретировать как двумерную матрицу и соответствующим образом оценивать как при одноцелевой задаче, описанной в § 3.5.



При этом следует выделить широко распространенный на практике случай, когда цели связаны *дизъюнктивно* (т. е. по принципу ИЛИ). Таким образом связаны цели, которые можно сравнить друг с другом, так что меньшая степень реализации одной цели может быть компенсирована лучшим исполнением другой. Наоборот, для *конъюнктивно* (т. е. по принципу И) связанных целей характерно положение, когда невыполнение одной частной цели ведет к тому, что не достигается итоговая цель.

Конъюнктивная связь целей приводит в частном случае к соотношению:

$$r_i = \min_k (r_{ik} g_k).$$

При смешанной связи $(Z_1 \vee Z_2 \vee Z_3) \wedge Z_4$ получают, например,

$$r_i = \min_k [1/3(r_{i1} + r_{i2} + r_{i3}); r_{i4}]$$

Для решения многоцелевой задачи часто используют метод выбора варианта решения внутри так называемого *эффективного множества*, которое называется также *множеством Парето* или *компромиссным множеством*. Полиоптимизация ставит задачу найти множество решений, заданных таким эффективным множеством. При этом нужно избежать принятия преждевременного поспешного компромисса, исходящего из решения, не принадлежащего эффективному множеству, чтобы не упустить тем самым оптимального варианта.

Решение E_1 предпочитается решению E_2 , что символически записывается $E_1 \succ E_2$ когда эти решения обладают свойствами

$$z_k(E_1) \geq z_k(E_2); \text{ при } k = 1, \dots, K$$

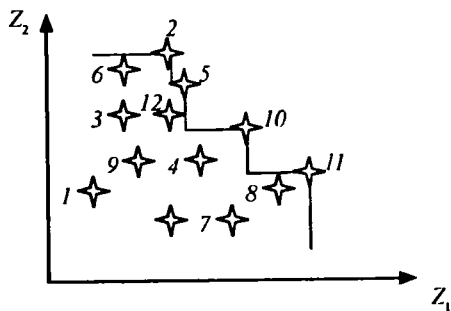
и по меньшей мере для одного k_0 справедливо соотношение

$$\exists k_0: z_{k_0}(E_1) > z_{k_0}(E_2)$$

Из всех таких решений E_p и составляется эффективное множество:

$$\{E_p\} = \{E_i \in E \mid \exists E_j \in E: E_j \succ E_i\}$$

Проиллюстрируем прием выделения эффективных решений на примере задачи с двумя целями: Z_1 и Z_2 (оба требуется максимизировать). Множество E состоит из конечного числа m возможных решений E_1, E_2, \dots, E_m . Каждому решению соответствуют определенные значения показателей Z_1 и Z_2 ; будем изображать решение точкой на плоскости с координатами Z_1 и Z_2 и занумеруем точки соответственно номеру решения:



Очевидно, из всего множества E эффективными будут только решения E_2, E_3, E_{10}, E_{11} , лежащие на правой верхней границе области возможных решений. Для всякого другого решения существует хотя бы одно доминирующее, для которого либо Z_1 , либо Z_2 либо оба больше, чем для данного, и только для решений, соответствующих верхней границе.

Аналогично строится множество эффективных решений и в случае, когда показателей не два, а больше. Множество эффективных решений более обозримо, чем множество E .

Существует один, часто применяемый способ свести многоцелевую задачу к одноцелевой задаче. Для этого нужно выделить один (главный) показатель Z_1 и стремиться его обратить в максимум, а на все остальные Z_2, Z_3, \dots, Z_k наложить только некоторые ограничения, потребовав, чтобы они были не меньше каких-то заданных z_2, z_3, \dots, z_k . При таком подходе все показатели, кроме одного – главного, переводятся в разряд заданных условий. Известный произвол в назначении границ z_2, z_3, \dots, z_k разумеется, при этом остается. Поправки в эти границы тоже могут быть введены в диалоговом режиме. Такой метод, в процессе которого одна задача сводится к другой, ориентированной на единственную цель, весьма рационален. В общем случае, сильные ограничения сужают пространство оптимизации в большей или меньшей степени произвольно. Это нередко может привести к такой ситуации, когда оптимум достигнуть не будет и оптимальный вариант решения найти не удастся.

Существует еще один путь построения компромиссного решения, который можно назвать *методом последовательных уступок*. Предположим, что показатели Z_1, Z_2, \dots, Z_k расположены в порядке убывающей важности. Сначала ищется решение, обращающее в максимум первый (важнейший) показатель $Z_1 = Z_1^*$. Затем назначается, исходя из практических соображений, с учетом малой точности, с которой нам известны входные данные, некоторая «уступка» ΔZ_1 , которую мы согласны сделать для того, чтобы максимизировать показатель Z_2 . Наложим на показатель Z_1 ограничение: потребуем, чтобы он был не меньше, чем $Z_1^* - \Delta Z_1$, и при этом ограничении ищем решение, обращающее в максимум Z_2 . Далее снова назначим «уступку» в Z_2 , ценой которой можно максимизировать Z_3 , и т. д. Такой способ построения компромиссного решения хорош тем, что здесь сразу видно, ценой какой «уступки» в одном показателе приобретается выигрыш в другом и какова величина этого выигрыша.

3.7. Геоинформационное моделирование при поддержке принятия решений

Постоянное увеличение объемов информации увеличивает нагрузку на субъектов, принимающих решение, и ставит задачу переноса проблемы принятия решения с человека на ЭВМ. Простейшая модель принятия решения включает четыре основных, циклически повторяющихся этапа: сбор, анализ и преобразование данных, получение вариантов решений, разработка критериев оценки решений, выбор одного из вариантов на основе выбранных критериев.

Во многих случаях государственное и муниципальное управление строится на использовании информации о земельных ресурсах, потому что этот вид информации наиболее устойчив по сравнению с другими. Эта информация часто служит основой интеграции других видов информации.

В геоинформационных системах процедура принятия решений, как правило, ориентированна на следующие этапы работ:

1. *Ввод данных.* На этом этапе осуществляется векторизация растрового изображения, вводятся атрибутивные данные с привязкой к графическим данным.
2. *Управление базой данных.* Графические объекты, состоящие из растровых и векторных изображений, объединяются в слои. С каждым слоем связывается таблица атрибутивных данных.
3. *Обработка и анализ данных.* Осуществляется взаимный поиск графических и атрибутивных данных и вывод результатов. Для площадных объектов при необходимости производится подсчет площадей и периметров границ участков.
4. *Интерпретация и принятие решения.* Анализ геоданных, выбор оптимальных маршрутов, поддержка решений и т. д.
5. *Отображение и передача информации.* Графические данные отображаются на экране и могут быть выведены в файл.

Рассмотрим различные примеры использования принципа геомоделирования при решении ряда задач землепользования.

3.7.1. Классификация типа загрязнения по разным факторам

Постановка и решение задачи

В тематическом картографировании, например при составлении экологических карт, сначала получают данные о состоянии атмосферы, надземных и подземных вод, почвы и т. д. для каждого однородного участка. Затем по существующим нормативам и этим исходным данным все участки классифицируются на несколько типов разной степени загрязнения, на основании чего делается вывод об экологическом состоянии местности в целом.

Эта задача решается следующим образом.

1. По исходной карте (или снимку) создается электронная карта (ЭК) исследуемых однородных участков.
2. Создается база атрибутивных данных (БАБ). Осуществляется привязка атрибутивных данных к выделяемым участкам ЭК.
 - Таблица [*ecology area*] (БАБ) содержит все атрибутивные данные каждого участка. Так она включает в себя такие данные, как площади, периметры и показатели загрязнения, содержащиеся в атмосфере, надземной воде, подземной воде, почве и т. д.).
3. Создается база данных для обеспечения многофакторной классификации (БДК).
 - Таблица [*ecology classification*] (БДК) содержит все нормативные данные по степени загрязнения для каждого фактора. Эта таблица является наиболее значимой для классификации.
 - Таблица [*ecology classification weight*] содержит вес (значимость) каждого фактора загрязнения при классификации.
 - Таблица [*ecology lookup table*] содержит перечень соответствия каждого типа степени загрязнения графическому слою, отображаемому на карте.
 - Таблица [*ecology map*] предназначена для сохранения результатов классификации.

4. Выполняется классификация. В результате выполнения классификации в таблице [ecology map] устанавливается перечень соответствия каждого участка разному типу загрязнения. В результате на ЭК каждый участок будет отображен в соответствующем виде.

Схема решения задачи представлена на рис. 8.

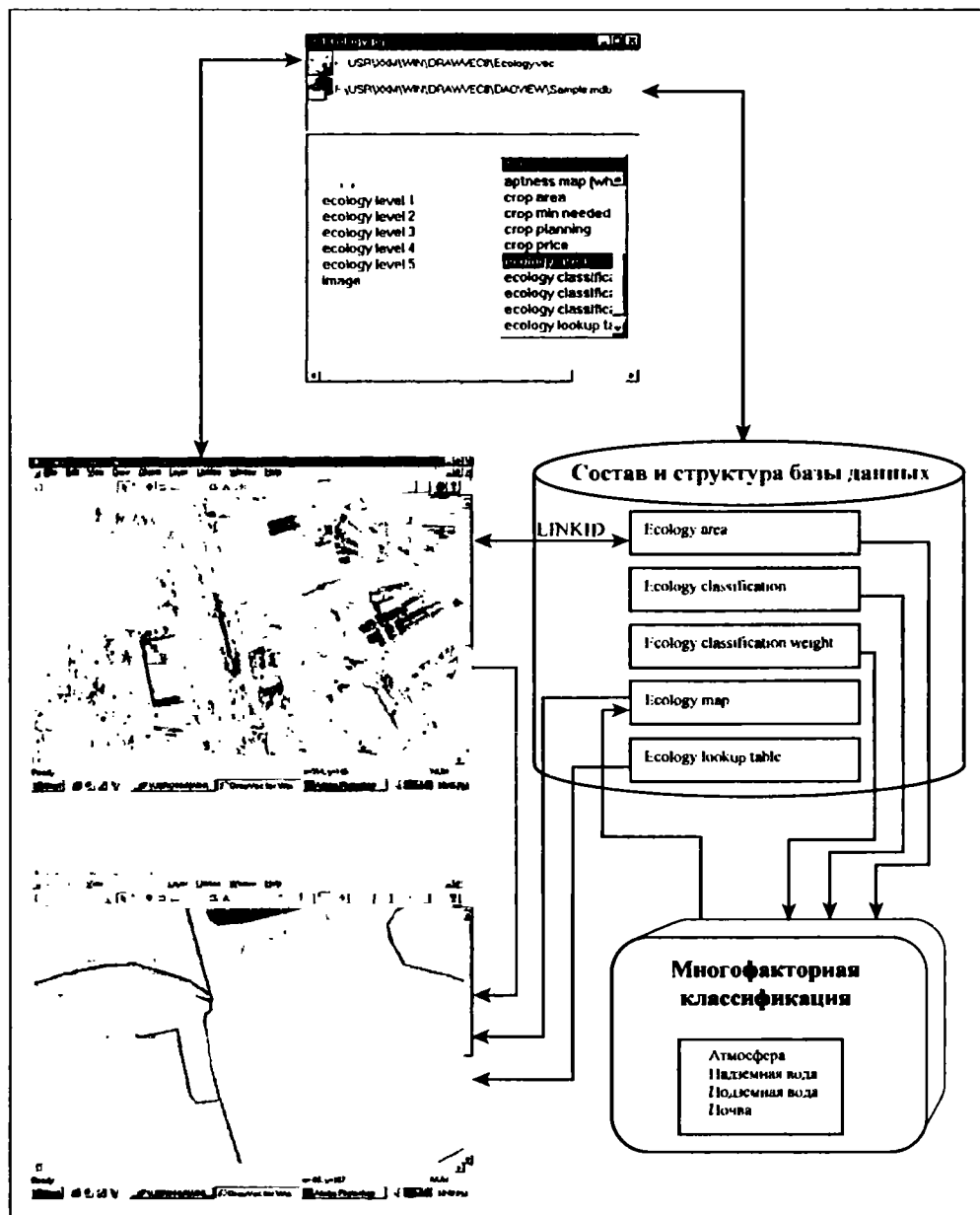


Рис. 8. Схема анализа типов загрязнений

3.7.2. Оценка качества земель на их пригодность использования под различные сельскохозяйственные культуры

Постановка и решение задачи

В качестве исходной информации в этой технологии учитывались следующие показатели: рельеф местности и его производные характеристики (уклоны, водоразделы); дренированность территории и степень ее увлажнения; мощность почвенного профиля; тип почвы; содержание гумуса в почве; кислотность почвы; глубина грунтовых вод; контурность; окультуренность земель; эрозионная опасность, степень эродированности; гранулометрический состав; карбонатность; степень засоления; и т. д. Часть из этих показателей выбиралась из ГИС, другая задавалась в виде табличных данных.

С помощью специализированного, входящего в состав прикладного математического обеспечения ГИС, эта задача решается следующим образом.

1. По исходной карте (или снимку) создается электронная карта исследуемых однородных участков.
2. Создается база атрибутивных данных участков и проектный файл. Производится привязка атрибутивных данных к выбранным участкам ЭК.
 - Таблица [*crop area*] содержит все атрибутивные данные каждого участка. Она включает в себя все данные о площадях, периметрах и показателях пригодности по разным факторам (уклону; мощности почвенного профиля; типу почвы; содержанию органического вещества в почве; кислотности почвы и т. д.) каждого участка.
3. Создается база данных, необходимая для многофакторной классификации.
 - Таблица [*aptness classification*] содержит все нормативные данные для классификации по каждому фактору. Эта таблица является основополагающей для классификации.
 - Таблица [*aptness classification weight*] содержит вес (значимость) каждого фактора для классификации.
 - Таблица [*aptness lookup table*] содержит перечень соответствия каждого типа земель по пригодности для конкретного вида сельскохозяйственных культур графическому слою, отображаемому на ЭК.
 - Таблица [*aptness map*] сохраняет результаты классификации.
4. Выполнение классификации. В результате выполнения классификации в таблице [*aptness map*] сохраняется перечень соответствия каждого участка разному типу пригодности земель. На карте все участки будут отображены в соответствующем виде.

Схема описанного процесса представлена на рис. 9.

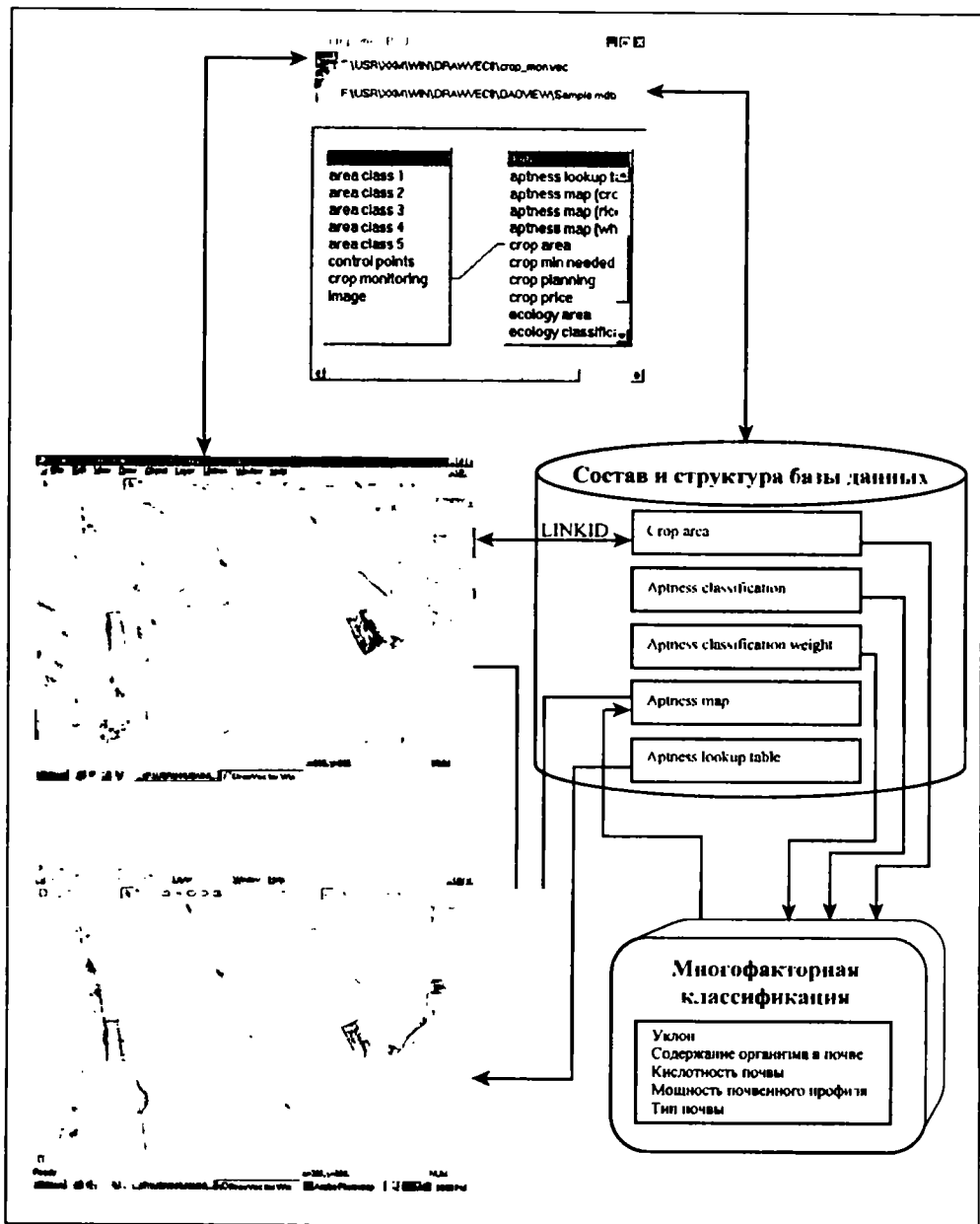


Рис. 9. Схема оценки качества земель

3.7.3. Задача о наилучшем использовании посевной площади

Постановка и решение задачи

Пусть под посев m культур отведено n земельных массивов площадью соответственно a_1, a_2, \dots, a_n га, причем пусть средняя урожайность i -й культуры на j -м массиве составляет a_{ij} центнеров с гектара, а выручка за один центнер i -й культуры составляет p_i рублей.

Требуется определить, какую площадь на каждом массиве следует отвести под каждую из культур, чтобы получить максимальную выручку, если по плану должно быть собрано не менее b_i центнеров i -й культуры ($i = 1, 2, \dots, m$).

Обозначим через X_{ij} площадь, которую предполагается отвести под i -ю культуру на j -м массиве, задача заключается в максимизации линейной формы:

$$Z = p_1(a_{11}x_{11} + \dots + a_{1n}x_{1n}) + \dots + p_m(a_{m1}x_{m1} + \dots + a_{mn}x_{mn});$$

при выполнении следующих ограничений:

$$\begin{cases} x_{11} + \dots + x_{m1} + a_1 \\ \dots \\ x_{1n} + \dots + x_{mn} + a_n \\ a_{11}x_{11} + \dots + a_{1n}x_{1n} \geq b_1; \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n; \\ \dots \\ a_{m1}x_{m1} + \dots + a_{mn}x_{mn} \geq b_m \\ x \geq 0 \end{cases}$$

Таким образом, задача решается симплекс-методом. С помощью пакета DrawVec эта задача решается следующим образом.

1. По исходной карте (или снимку) создадим электронную карту исследуемых однородных участков.
2. Создадим базу атрибутивных данных участков и проектный файл. Привяжем атрибутивные данные к электронной карте участков.
 - Таблица [crop area] содержит все атрибутивные данные каждого участка. Она включает в себя все данные о площадях, периметрах и показателях пригодности по разным факторам (уклону; мощности почвенного профиля; типу почвы; содержанию организма в почве; кислотности почвы и т. д.) каждого участка.
3. Выполним оценку земель с целью определения категории их пригодности для каждого вида культур. В результате получим таблицы классификации [aptness map] под каждую из культур.
4. Создадим базу данных, необходимых для решения задачи планирования.
 - Таблица [crop output] содержит информацию о средней урожайности каждого вида культур для всех категорий их пригодности.
 - Таблица [crop min needed] содержит минимально необходимый сбор каждой культуры по плану.
 - Таблица [crop price] содержит стоимость за единицу каждой культуры.
 - Таблица [crop planning] будет сохранять результат планирования.

5. Создадим запрос *[crop production details]* с помощью таблиц *[crop area]*, *[aptness map]* и *[crop output]*. Запрос *[crop production details]* содержит информацию о средней урожайности i -й культуры на j -м массиве.

Выполним планирование. В результате выполнения в таблице *[crop planning]* сохраняются площади на каждом участке массива под каждую из культур.

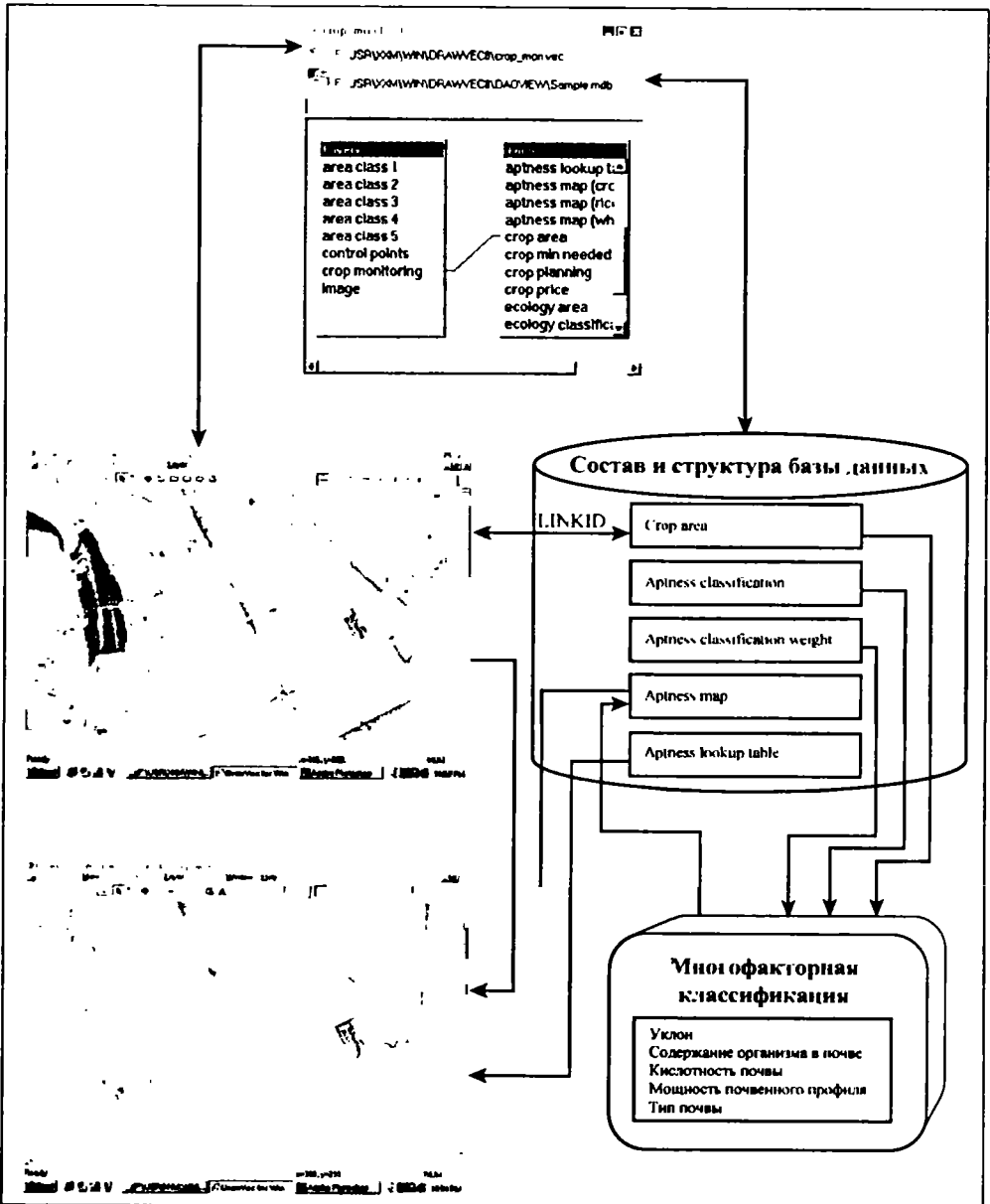


Рис. 10. Схема анализа о наилучшем использовании площади

3.8. Генерализация в ГИС

Генерализация принадлежит к важнейшим, определяющим понятиям современной картографии. Картографическая генерализация возникла одновременно с картографированием земной поверхности и является неотъемлемым и сложнейшим процессом создания как традиционных, так и цифровых карт. Сущность генерализации заключается в отборе и обобщении. Определяющим фактором при генерализации является назначение карты.

Генерализация – разносторонний и многоступенчатый процесс абстрагирования, включающий в себя, во-первых, устранение в картографическом изображении несущественных сторон и признаков явлений, во-вторых, обобщение, понимаемое в философском смысле как переход от менее общих к более общим классификациям и понятиям. Использование на картах координированных в пространстве знаковых систем позволяет передавать ЭВМ решение многих задач картографической генерализации по обобщению очертаний, отбору, обобщению количественных и качественных характеристик.

Элементы содержания могут иметь точечный, линейный и площадной характер. Для точечных объектов можно провести процесс генерализации, сокращая для них число количественных и качественных различий и проводя отбор по ценовым или нормативным показателям.

Для линейных объектов возникает дополнительная задача – автоматизировать обобщение их очертаний. Этот процесс можно осуществить выбором значений координат точки с заданным шагом, но в этом случае теряются характерные точки линий. Другой способ – исключение при помощи ЭВМ извилин кривых и изломов ломаных линий, меньше установленного ценза. При передаче явлений сплошного распространения посредством системы изолиний генерализацию надо рассматривать как обобщение поверхности. В этом случае можно использовать трендовые (усредненные поверхности). Проведение генерализации необходимо осуществлять, увязывая в комплексе все элементы содержания. Так, при генерализации рельефа надо учитывать генерализацию речной сети, а также общие и локальные высотные отметки вершин и депрессии рельефа.

Применение ГИС-технологий при построении и обновлении карт поставило вопрос о формализации всех проявлений генерализации. Появление электронных карт привело к необходимости переосмысления этих методов применительно к новому виду карт. Выбор элементов содержания и последовательности генерализации их в значительной степени зависит от тематики карт, масштаба карт, технических средств и др.

При генерализации элементов содержания электронных общегеографических карт обычно придерживаются следующей последовательности: объекты гидрографии и гидротехнические сооружения, населенные пункты, промышленные и сельскохозяйственные объекты, дорожная сеть и дорожные сооружения, рельеф, растительный покров и грунты, границы.

При генерализации учебных карт требуется учитывать:

- постепенное усложнение нагрузки учебных карт при обучении;
- исключение картографических объектов, которые не раскрывают основное содержание данной тематической карты;
- обеспечение наилучшей читаемости карты и ее изобразительных свойств.

Рассмотрим подходы к автоматизации генерализации карт на конкретных примерах.

На мелкомасштабных картах населенные пункты изображаются как точечные объекты. На картах масштаба 1 : 200 000 и крупнее показываются все населенные пункты. На картах масштаба 1 : 500 000, в зависимости от нагрузки, количество населенных пунктов может быть уменьшено в три раза и составляет не более 130 населенных пунктов на кв. дм. На картах масштаба 1 : 1 000 000 количество населенных пунктов варьируется от 60 до 140 на кв. дм карты. На карте мира масштаба 1:2 500 000 максимальная норма отбора составляет 300 населенных пунктов на кв. дм. Таким образом, количество населенных пунктов на кв. дм в масштабе карты на мелкомасштабных картах практически не меняется. Изменение масштаба карты в M раз приводит к изменению показываемой площади в M^2 , а следовательно, количество населенных пунктов на этой площади изменится в M^2 раз, но показать на карте мы сможем только \sqrt{M} населенных пунктов. Таким образом, при генерализации электронных карт целесообразно использовать метод квадратного корня.

А.В. Бородин предложил при отборе населенных пунктов использовать два фактора – плотность населения и густоту населенных пунктов. Причем густота населенных пунктов в этом методе отражается густотой условных знаков, а плотность населения – площадной нагрузкой, и каждый населенный пункт имеет определенный вес, вычисляемый по формуле:

$$V = A * p / P,$$

где V – вес;

A – общее количество жителей, приходящееся на 1 кв. см;

p – площадь условного знака, кв. мм;

P – общая площадь условных знаков населенных пунктов, подлежащих изображению на карте (кв. мм / кв. см), или площадная нагрузка карты.

Для автоматизированного процесса отбора эти методы обладают существенным недостатком – все они отражают только количественную сторону процесса; качественная же сторона предоставлена на субъективное рассмотрение картографа-составителя. Установив нагрузку карты населенными пунктами, нужно еще знать, какие пункты должны определить эту нагрузку.

Для автоматизации процесса отбора населенных пунктов необходимо разработать не только общие математические принципы норм отбора, но и установить классификацию населенных пунктов, определяющую порядок отбора населенных пунктов, в зависимости от качественных признаков.

Для установки приоритетов отбора населенных пунктов можно использовать разработанную Министерством обороны РФ Единую систему кодов и классификаций картографической информации.

На картах населенные пункты распределены неравномерно. Имеются участки с большой плотностью населения и с маленькой плотностью населения. Чтобы учесть эту неоднородность, для отбора населенных пунктов на картах масштаба 1:1 000 000 предлагается метод скользящего окна.

Для каждого населенного пункта вводятся следующие характеристики: название, координаты, код населенного пункта и число жителей.

Код населенного пункта состоит из двух цифр. Первая цифра определяет вид населенного пункта:

- 1 – крупные города (с населением 50 000 жителей и более);
- 2 – малые города (с населением менее 50 000 жителей) и поселки городского типа;
- 3 – поселки сельского типа (с населением 1000 жителей и более);
- 4 – поселки сельского типа (с населением менее 1000 жителей);
- 5 – поселки дачного типа;
- 6 – отдельные строения.

Вторая цифра определяет административное значение населенного пункта:

- 1 – столица РФ;
- 2 – столицы республик, входящих в состав РФ;
- 3 – центры краев и областей;
- 4 – центры автономных областей и автономных округов;
- 5 – населенные пункты, не имеющие административного значения.

Для определения коэффициента отбора на карте используем метод радикалов. Так как исходная карта имеет масштаб 1:1 000 000, коэффициент отбора будет определяться по формуле:

$$K = \sqrt{M}$$

где M – коэффициент уменьшения масштаба карты по сравнению с исходной.

Далее задается размер окна, в котором производим отбор. Подсчитываем количество населенных пунктов до отбора и определяем их количество в окне после отбора. Все административные центры отбору не подлежат. Среди оставшихся населенных пунктов отбрасываем те, которые имеют наименьшее количество жителей.

Рассмотрим формализованные правила описания методов отбора речной сети при составлении карт мелких масштабов. В картографической практике при отборе рек составители больше всего исключают их там, где они имеют наименьшую длину и расположены наиболее густо. С увеличением длины рек их исключают меньше и, наконец, при достаточно большой длине, на карте показывают все реки независимо от их густоты. Аналогичным образом поступают при одинаковой длине рек, но разной густоте речной сети. Чем больше расстояния (или площади) между реками, тем они исключаются меньше и, наконец, при достаточно малой густоте они изображаются все, кроме очень коротких, которые совсем не показываются. Производится отбор в соответствии с вышеуказанными правилами, но, учитывая качественную характеристику рек, составители, однако, не имеют строгих норм отбора и проявляют некоторый субъективизм.

Попытаемся установить нормы отбора рек на общегеографической карте масштаба 1:1 000 000 применительно к равнинному району европейской части России. Прежде всего, исходя из назначения карты и географических особенностей данного района, установим ценз для исключения самых коротких притоков. В качестве такого ценза установим длину реки 6,4 км. Далее установим ценз для наиболее крупных рек, которые все показываются на карте, определив их длину 0,6 км. Следовательно, частичному показу будут подлежать реки длиной от 6,4 до 20,6 км. Составим для них градационную шкалу, построенную в геометрической прогрессии со знаменателем 1,6 и ступенями 6,4–8,1; 8,1–10,2; 10,2–12,9; 12,9–16,3; 16,3–20,6 мм. Густоту речной сети при отборе удобно характеризовать средними расстояниями или площадью между реками одной ступени шкалы по каждому склону. Построим соответствующую шкалу также в виде геометрической прогрессии со знаменателем 1,6 и ступенями 1,2–1,9; 1,9–3,1; 3,1–4,9; 4,9–7,9; 7,9–12,6; 12,6–20,1 мм в масштабе карты.

Первая ступень начинается с величины 1,2 мм. Ее можно считать минимальной при отборе, если учесть, что между реками нужно изобразить еще рельеф и принять 0,4 мм минимально допустимым расстоянием между линиями при печатании элементов карты. Последняя ступень шкалы должна устанавливаться в зависимости от назначения карты и характера картографируемой территории. Она должна характеризовать такую густоту сети самых коротких рек.

В табл. 3 приведены нормы отбора речной сети для рассматриваемой территории в зависимости от длины рек и их густоты, в ней средние расстояния между реками даны в мм в масштабе карты.

Табл. 3. Таблица норм отбора речной сети

| Длина рек на карте, мм | Средние расстояния между реками после отбора при средних расстояниях до отбора, мм | | | | | |
|---------------------------|---|---------|---------|---------|----------|-----------|
| | 1,2–1,9 | 1,9–3,1 | 3,1–4,9 | 4,9–7,9 | 7,9–12,6 | 12,6–20,1 |
| 6,4–8,1 | 7,4 | 8,0 | 8,9 | 10,3 | 12,6 | 16,4 |
| 8,1–10,2 | 5,0 | 5,6 | 6,5 | 7,9 | 10,2 | |
| 10,2–12,9 | 3,5 | 4,1 | 5,0 | 6,4 | | |
| 12,9–16,3 | 2,5 | 3,1 | 4,0 | | | |
| 16,3–20,6 | 1,9 | 2,5 | | | | |
| Свыше 20,6 | 1,6 | | | | | |

Первая строка таблицы предназначена для отбора самых коротких рек. Разности между соседними ее значениями возрастают в геометрической прогрессии со знаменателем 1,6. Разности между соседними значениями первой графы уменьшаются в геометрической прогрессии со знаменателем 1,6. Эта графа предназначена для отбора рек разной длины одинаковой по густоте речной сети. Значения таблицы по диагонали (1,6; 1,5; 6,4; 10,2; 16,4) – средние расстояния, при которых реки соответствующей длины показываются на карте все без исключения. Величина среднего расстояния между самыми короткими реками после отбора в местах

их наибольшей густоты должна устанавливаться исходя из назначения карты и характера картографируемого района.

Отбор рек с помощью таблицы следует производить в определенной последовательности, начиная с более крупных и заканчивая менее крупными реками. Сначала на лист карты или его часть наносят все реки, длина которых превышает минимальный, предусмотренный в таблице ценз, а также исключают притоки, не превышающие минимального ценза. Затем, установив по одному из склонов среднее расстояние для рек одной ступени, по таблице определяют расстояние между реками после отбора и в соответствии с ним отбирают необходимое количество рек. Среднее расстояние для рек низших ступеней определяют на участках, ограниченных реками более крупных градаций. При отборе необходимо также учитывать качественные особенности рек, однако количество отобранных рек должно строго согласовываться с нормами.

Для автоматического составления карт необходима разработка алгоритмов генерализации, позволяющих программировать на ЭВМ отбор и обобщение элементов содержания карт. Но этому должна предшествовать исследовательская работа по установлению строгих правил и норм генерализации элементов содержания с учетом их количественных и качественных характеристик. Степень генерализации зависит от назначения и масштаба карты, географических особенностей картографируемой территории, а также важности и густоты отбираемых объектов.

Последовательность выполнения операции по отбору речной сети на ЭВМ можно подразделить на подготовительные операции и операции отбора.

К подготовительным операциям отнесены: считывание координат рек на исходном материале с переводом их графического изображения в цифровую форму в виде прямоугольных координат совокупности дискретных точек, ввод цифровой информации на ЭВМ и предварительная ее переработка с приведением к единому масштабу составительского оригинала и ориентировке координатных осей. На этой стадии обработки может быть выполнено и преобразование информации в проекцию составительского оригинала.

Независимо от того, каким способом будет выполняться считывание (слежением, сканированием или их сочетанием), необходимо для ввода в ЭВМ иметь массивы абсолютных значений координат точек, последовательно расположенных на реке. При этом на исходных материалах должен быть строго выдержан единый порядок записи точек в направлении от истоков к устью (или наоборот). Каждый массив должен обозначаться специальным кодовым признаком, позволяющим отделять реки друг от друга. Порядок записи самих массивов значения не имеет.

Для нахождения притоков реки обязательным условием является обозначение каждого притока специальным кодовым признаком принадлежности к другому водотоку, а также положения притока относительно основного русла (левый приток, правый приток).

Подготовительные операции завершаются вычислением длин рек в масштабе составления и разбивкой на градации. Число градаций может быть различным, в настоящих исследованиях ограничились семью градациями.

Поскольку линейное изображение заменено на совокупность точек с известными значениями координат, которые, как уже отмечалось, записаны в очередности их расположения на реке, то по координатам можно вычислить длину некоторой ломаной линии. Полученная величина при достаточной частоте точек будет близка к протяженности реки на карте. Длина реки определяется из приближенного соотношения:

$$L_i = \sum_{j=1}^{i=k} l_j$$

где $l_j = \sqrt{(X(j+1) - X(j))^2 + (Y(j+1) - Y(j))^2}$

Таким образом, числовая информация обо всех реках перерабатывается, дополняется и записывается на внешнем накопителе или в оперативной памяти в виде, удобном для ее дальнейшего использования в программах отбора.

Для программирования операции отбора прежде всего необходимо установить строгую последовательность действий, исключающую возможность получения неоднозначных решений. Количественными признаками, служащими для принятия решения об отображении реки на карте или ее исключении, являются градации рек по длине и величина, которая характеризует густоту сети. Все реки можно подразделить на две группы. К первой группе относятся реки, которые имеют большую протяженность, поэтому отображаются на карте независимо от величины расстояния от нее до ближайших рек. Все остальные реки можно отнести ко второй подгруппе. Реки первой группы берутся за основу, от которой начинается собственно отбор. При отборе выдерживается порядок последовательного перехода от более высоких градаций к более низким.

Положим, что реки седьмой градации берутся за основу. К основе могут быть отнесены и реки, отображаемые на карте по каким-либо качественным признакам. В рамках наших исследований такие случаи опускаются, поскольку они связаны с классификацией качественных признаков и их кодированием.

На реке седьмой градации оказываются притоки шестой градации в порядке следования от истока реки к устью. Опознанные притоки шестой градации отбираются с учетом их густоты. Отбор заключается в исключении одних притоков (с последующим исключением принадлежащих им водотоков) и переводе других рек в разряд основы. Затем производится опознавание на реках седьмой градации притоков пятой градации и их отбор между притоками шестой градации. Таким образом перерабатываются все притоки последующих градаций на реках седьмой градации.

После отбора притоков на реках седьмой градации переходят к отбору на реках шестой градации. Начинают отбор уже с притоков пятой градации, последовательно переходя по отмеченной выше закономерности к более низким градациям. В такой последовательности выполняется отбор притоков на реках всех градаций.

При отборе учитывается густота речной сети, которая характеризуется величинами средних расстояний между притоками в зоне отбора. Для выполнения отбора необходимо знать величины расстояний отдельно между левыми и правыми притоками рассматриваемой реки. За расстояние между притоками принимается длина

перпендикуляра, опущенного из конечной точки предыдущего притока на прямую, проведенную через начальную и конечную точки последующего притока.

Характеристики для определения норм отбора во взятой за основу настоящих исследований методике заданы таблицами. Численные значения заданных в них характеристик получены эмпирическим путем.

Производятся предварительные операции, в результате которых для каждого водотока определяются его длина и градация. Вся эта информация, а также пометка о необходимости вычерчивать водоток после генерализации и координаты истока и устья реки заносятся в область памяти. Длина водотоков определяется программно следующим образом. Перебираются все водотоки. Для каждого водотока суммируются расстояния между точками кодирования. Расстояние между точками определяется по формуле:

$$R = \sqrt{(X(I) - X(I-1))^2 + (Y(I) - Y(I-1))^2}.$$

Водотоки разбиваются на градации в виде шкалы, построенной в геометрической прогрессии, знаменатель которой принят равным 1,6.

Производится разбивка водотоков по градам. Если водоток имеет первую градацию, то его необходимо отбросить. Отброс притоков первой градации осуществляется путем занесения в соответствующий элемент массива признака отбора.

Принадлежность притоков и указатель положения их по отношению к течению реки-основы (правый приток, левый приток) определяется картографом при подготовке карты к кодированию и вводится в ЭВМ с оригинала служебной информации.

Рассмотрим методы формирования цифровой модели и вычерчивание карты с генерализованным изображением.

Отбор речной сети осуществляется в соответствии с установленными правилами. Производится перебор всех водотоков. При этом разделяются левые и правые притоки и заносятся в специальный массив признаков. Среди притоков производится отбор, сначала притоков той же градации, что и основная река. Притоки, градации той же, что и основная река, являются границами зон отбора притоков нижних градаций. Проводится отбор по всем зонам отбора. Внутри каждой зоны проводится отбор рек по всем градам между ними.

Отбор рек в заданной зоне отбора для заданной градации производится специальной программой. Отбираются реки заданной градации. Между ними определяется расстояние и находится среднее расстояние. По таблице определяется градация притоков в зоне отбора по расстоянию между ними.

Определяется необходимость отбора притоков найденной градации. Если отбор необходим, ищутся два притока, между которыми расстояние минимально, и отбрасывается тот из них, от которого до соседней реки минимальное расстояние.

Земная поверхность на крупномасштабных картах не является однозначной и производные поверхности по направлениям не являются ограниченными. Земная поверхность на крупномасштабных картах не является всюду гладкой. При генерализации поверхности производится ее усреднение, сглаживание. На мелко-масштабных картах земная поверхность может быть представлена без разрывов и с гладкой первой производной по направлениям.

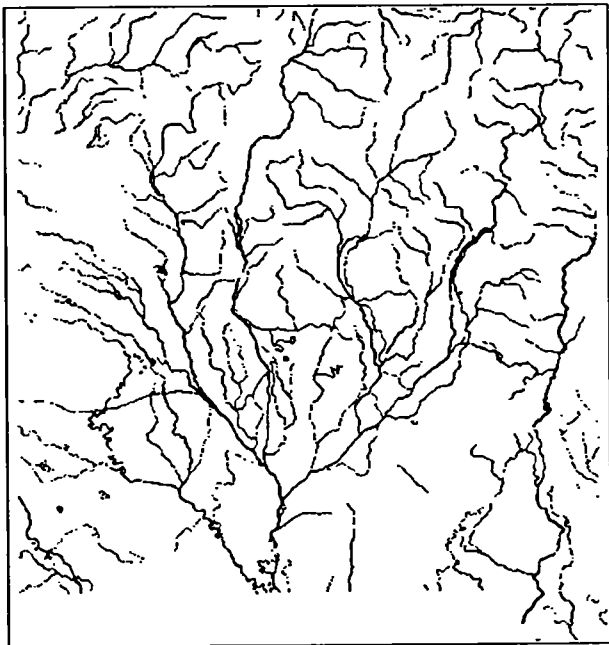


Рис. 11. Речная сеть до отбора

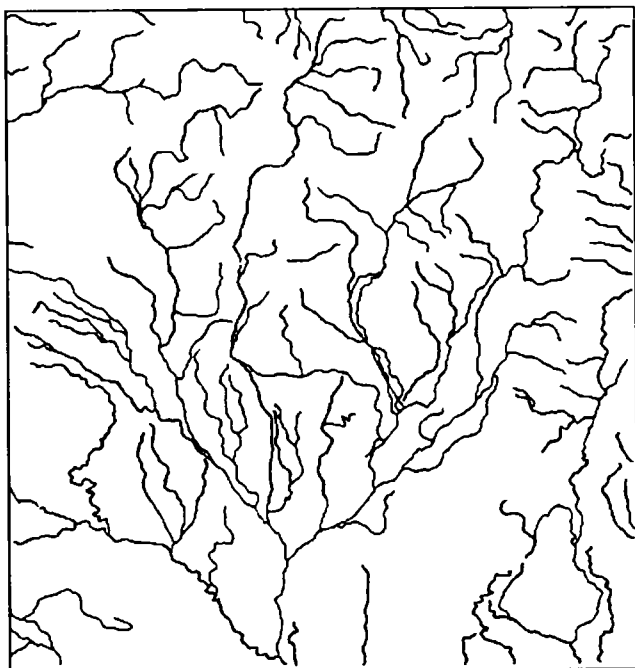


Рис. 12. Речная сеть после отбора

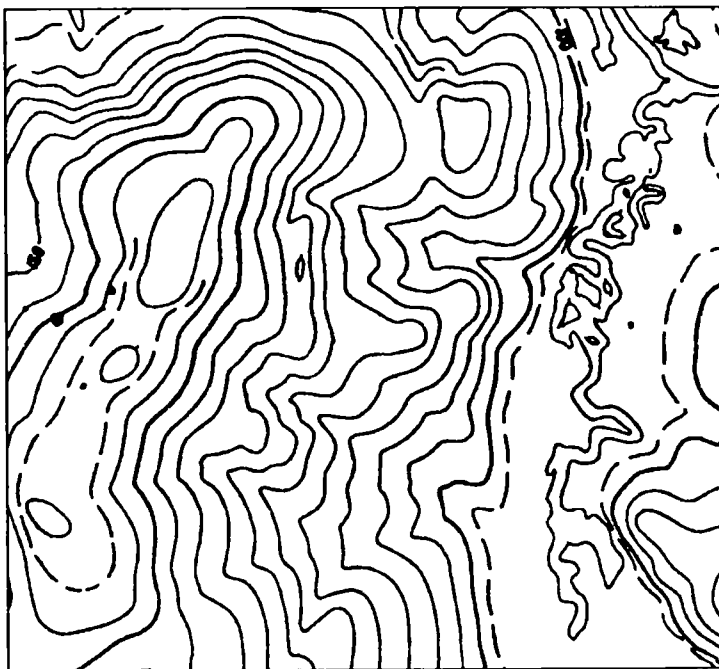


Рис. 13. Горизонталы исходного рельефа

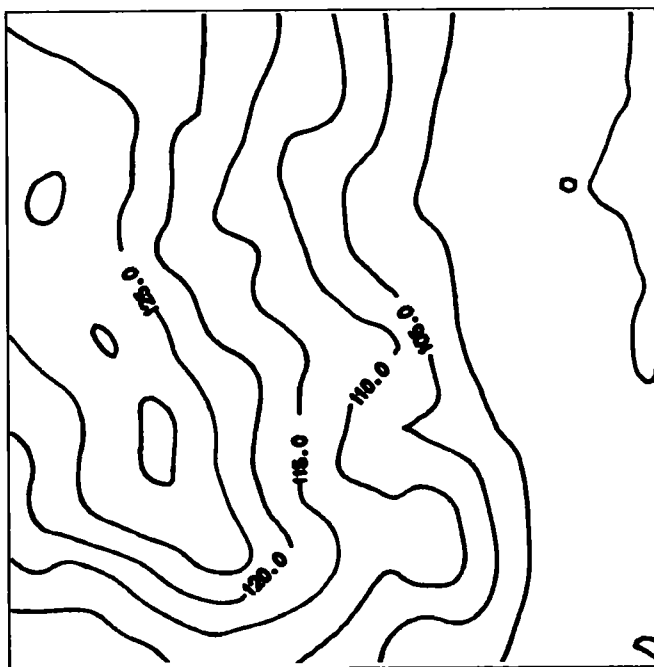


Рис. 14. Горизонталы сглаженного рельефа

Для автоматизации процесса генерализации рельефа необходимо исключить из рассмотрения неоднозначные участки поверхности (например, овраги), а в остальных участках поверхность должна быть усреднена в пределах точности построения карты. То есть должна быть создана трендовая (усредненная) поверхность.

Одним из возможных методов усреднения поверхности является линейно-статистический метод. Усреднение производится методом взвешивания внутри круговой области. Функции взвешивания обратно пропорциональны расстоянию между точками. Величина усреднения зависит от радиуса круга и весовой функции. Чем радиус круга, внутри которого производится усреднение, больше, тем поверхность более сглаженная. Возможно применение весовых функций, которые обратно пропорциональны четной степени радиуса окружности. Чем степень радиуса окружности выше, тем влияние на значение поверхности в определяемой точке близ лежащих точек больше, а, следовательно, поверхность будет менее усредненной. На рис. 14 приведены изолинии, полученные методом усреднения исходного рельефа (рис 13).

Контрольные вопросы

1. Что дает структурный подход для анализа данных в ГИС?
2. Дайте определение нечеткого множества.
3. Приведите примеры нечетких множеств.
4. Дайте классификацию моделей данных в ГИС.
5. В чем заключается генерализация объектов в ГИС при переходе к более мелкому масштабу?
6. Как реализовывается в современных ГИС генерализация электронных карт?
7. Где в ГИС реализуются методы условной и безусловной оптимизации?
8. Приведите примеры интеграции ГИС и теории игр.

ГЛАВА 4

Трехмерное моделирование

4.1. Модели и структуры трехмерных пространственных данных

Выбор модели и структуры данных является важной задачей моделирования пространственных данных. Выделяется четыре категории геопро пространственных объектов: точки, кривые, многоугольники, пространственные наборы.

Точка описывает нульмерный объект. Кривая – образ одномерного объекта. Кривая моделируется набором прямых линий или сплайн-интерполяцией. Многоугольники задают область на плоскости. Пространственные наборы описывают сложные объекты, состоящие из совокупности точек, кривых и многоугольников. Каждый объект имеет набор характеристик. В состав характеристик входят номер объекта, код объекта по классификатору и ряд характеристик, которые задают свойства объекта.

Для применения операций над пространственными объектами они объединяются в слои или пространства. Каждый слой имеет набор своих характеристик.

Простейшее и наиболее общее из всех пространств называется множественно-ориентированным. К числу основных отношений, применяемых в этом пространстве, относятся отношения объединения, пересечения, включения и членства.

Другой вид пространств представляют собой топологические пространства. Топологические пространства допускают над собой гомоморфные и изоморфные преобразования. При изоморфных преобразованиях сохраняется форма объекта, а при гомоморфных – нет.

Обычными пространственными отношениями являются вложение, пересечение, соприкосновение, соседство. Так, точка может находиться внутри, снаружи или на границе плоскости. Кривая может пересекать внутреннюю область поверхности или соприкоснуться с поверхностью или не пересекаться с ней.

Топологическая форма представления отличается от обычной векторной модели тем, что объекты в каждом слое обработаны специальной процедурой учета топологии, которая просматривает, как правило, все объекты в слое и создает описание их расположения друг относительно друга. Для хранения описания расположения объектов друг относительно друга процедура построения топологии создает еще одну или несколько специальных таблиц. В этих таблицах хранятся не атрибутивные данные объектов, а список всех объектов слоя со ссылками друг

на друга. Для того чтобы описать расположение друг относительно друга линейных объектов, потребуется еще составить список всех точек, которые являются концами для линейных объектов. Естественно, в местах пересечения такие точки будут общими. Эти точки называются узлами. Поэтому при построении линейной топологии учитываются не только сами линейные объекты, но и узлы. Список линейных объектов хранится в одной специальной таблице, а список узлов, в другой. Для каждого линейного объекта в специальную таблицу характеристик вносятся номера двух узлов – начального и конечного. Центроид – это точка, которая лежит внутри полигона. На этот центроид каждый линейный объект, являющийся границей полигона, также имеет ссылку.

Взаимосвязь между объектами в реляционной базе данных может быть реализована при помощи ссылок между объектами. Более сложные модели – иерархическая и сетевая.

Нетопологическими операциями над объектами являются определение расстояния, направления, длины, периметра, площади и т. д. Отношения, связанные с направлением, могут являться абсолютными либо учитывать положение объекта или наблюдателя.

Вышеописанные операции являются статическими. Динамические операции изменяют объекты, над которыми они работают. Основные динамические операции: создание, удаление, обновление. Разновидностями операции «создать» являются воспроизведение, порождение, разделение, соединение. К операциям «обновить» относятся перемещение, поворот, масштабирование, отражение.

Существуют различные формы представления поверхностей и объектов и различные методы преобразования пространственных данных из одного представления в другое.

4.1.1. Аналитические модели представления поверхностей

Поданалитической моделью поверхности (АМП) будем понимать ее математическое описание, например в виде функции двух аргументов $z = f(x, y)$ или в виде уравнения $F(x, y, z) = 0$.

Для ряда задач удобно использовать параметрическую форму описания поверхности. В этом случае формулы для описания поверхности в декартовой системе координат (x, y, z) принимают вид

$$x = F_x(s, t), \quad y = F_y(s, t), \quad z = F_z(s, t),$$

где s и t – параметры, которые изменяются в определенном диапазоне, а функции F_x, F_y, F_z определяют форму поверхности.

Преимущество параметрического представления состоит в возможности описания поверхности, которую нельзя представить в виде однозначной функции рельефа, или замкнутой поверхности. Кроме того, при параметрическом способе задания АМП можно выбрать такой вид описания, при котором модель становится инвариантной к геометрическим поворотам.

В качестве примера можно представить аналитическое описание сферической поверхности, которая в декартовой системе координат имеет вид

$$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0,$$

а в параметрической форме записи:

$$x = R \sin s \cos t, \quad y = R \sin s \sin t, \quad z = R \cos s.$$

Одной из наиболее простых разновидностей приближений является применение двумерных многочленов Безье:

$$P(s, t) = \sum_{i=0}^m j=0 \sum_{j=0}^n C_m^i s^i (1-s)^{m-i} C_n^j t^j (1-t)^{n-j} P_{ij},$$

где P_{ij} – опорные точки-ориентеры, $0 < s < 1$; $0 < t < 1$, C_m^i и C_n^j – коэффициенты бинома Ньютона, рассчитываемые по формуле

$$C_a^b = \frac{a!}{b!(a-b)!}.$$

Для бикубического сплайна Безье, когда $m = 3$, $n = 3$, необходимо задание 16 точек-ориентеров P_{ij} . При этом коэффициенты C_m^i , C_n^j равны 1, 3, 3, 1.

Здесь можно рассмотреть и другие методы.

4.1.2. Векторные полигональные модели

При моделировании пространственных объектов в различных приложениях в качестве базовых элементов часто используются графические объекты-примитивы: вершины, отрезки прямых, полилинии, полигоны, полигональные поверхности (рис. 15). Элемент «вершина» (vertex) – основной элемент описания, так как он присутствует при описании всех других объектов-примитивов.

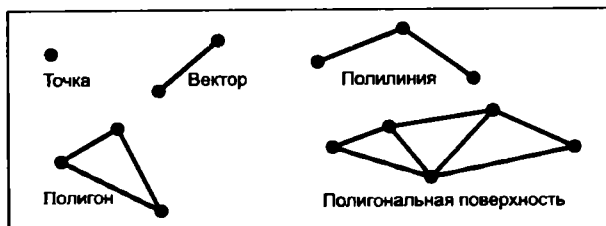


Рис. 15. Базовые элементы векторно-полигональной модели

Вершина может моделировать отдельный точечный объект, размер которого не определен, а также может использоваться в качестве конечных точек для линейных объектов и полигонов.

Двумя вершинами задается отрезок прямой (или вектор). Несколько векторов составляют полилинию. Полилиния может моделировать отдельный линейный

объект, толщина которого не учитывается, а также может представлять контур полигона (участок плоскости). Полигон моделирует площадной объект. Один полигон может описывать плоскую грань объемного объекта. Несколько граней составляют объемный объект в виде полигональной поверхности – многогранник или незамкнутую поверхность (полигональная сетка).

Полигональные модели можно считать наиболее распространенными при описании поверхностей объектов методами трехмерной компьютерной графики. Их используют в системах автоматизированного проектирования, в тренажерах, в САПР, геоинформационных системах и др.

Рассмотрим структуры данных, которые обычно используются в векторных полигональных моделях. В качестве примера пространственного объекта выберем куб (рис. 16).

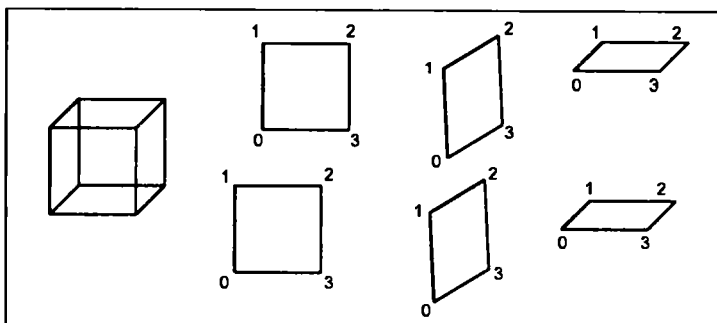


Рис. 16. Первый способ моделирования куба

В первом способе сохраняют все грани в отдельности, которые в координатной форме описываются следующим образом.

$$\text{Грань A} = \{(x_{A0}, y_{A0}, z_{A0}), (x_{A1}, y_{A1}, z_{A1}), (x_{A2}, y_{A2}, z_{A2}), (x_{A3}, y_{A3}, z_{A3})\}.$$

$$\text{Грань B} = \{(x_{B0}, y_{B0}, z_{B0}), (x_{B1}, y_{B1}, z_{B1}), (x_{B2}, y_{B2}, z_{B2}), (x_{B3}, y_{B3}, z_{B3})\}.$$

$$\text{Грань C} = \{(x_{C0}, y_{C0}, z_{C0}), (x_{C1}, y_{C1}, z_{C1}), (x_{C2}, y_{C2}, z_{C2}), (x_{C3}, y_{C3}, z_{C3})\}.$$

$$\text{Грань D} = \{(x_{D0}, y_{D0}, z_{D0}), (x_{D1}, y_{D1}, z_{D1}), (x_{D2}, y_{D2}, z_{D2}), (x_{D3}, y_{D3}, z_{D3})\}.$$

$$\text{Грань E} = \{(x_{E0}, y_{E0}, z_{E0}), (x_{E1}, y_{E1}, z_{E1}), (x_{E2}, y_{E2}, z_{E2}), (x_{E3}, y_{E3}, z_{E3})\}.$$

$$\text{Грань F} = \{(x_{F0}, y_{F0}, z_{F0}), (x_{F1}, y_{F1}, z_{F1}), (x_{F2}, y_{F2}, z_{F2}), (x_{F3}, y_{F3}, z_{F3})\}.$$

Схематично это выглядит таким образом.

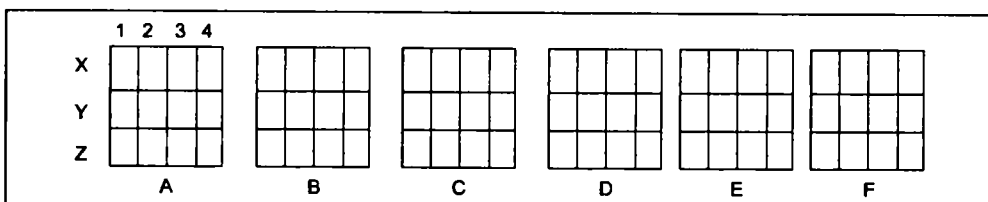


Рис. 17. Представление отдельных граней куба в компьютере

В компьютерной программе такой способ описания объекта можно реализовать по-разному. Например, для каждой грани открывается в памяти отдельный массив, как изображено на рис. 16, а можно все грани записывать в один массив-вектор.

Второй способ описания связан с заданием координат вершин поверхности (кубов) без повторов. Каждая вершина нумеруется и каждая грань задается в виде списка индексов вершин (указатель вершин). В результате описанием поверхности становится массив образованных граней, сохраняющий индексы вершин.

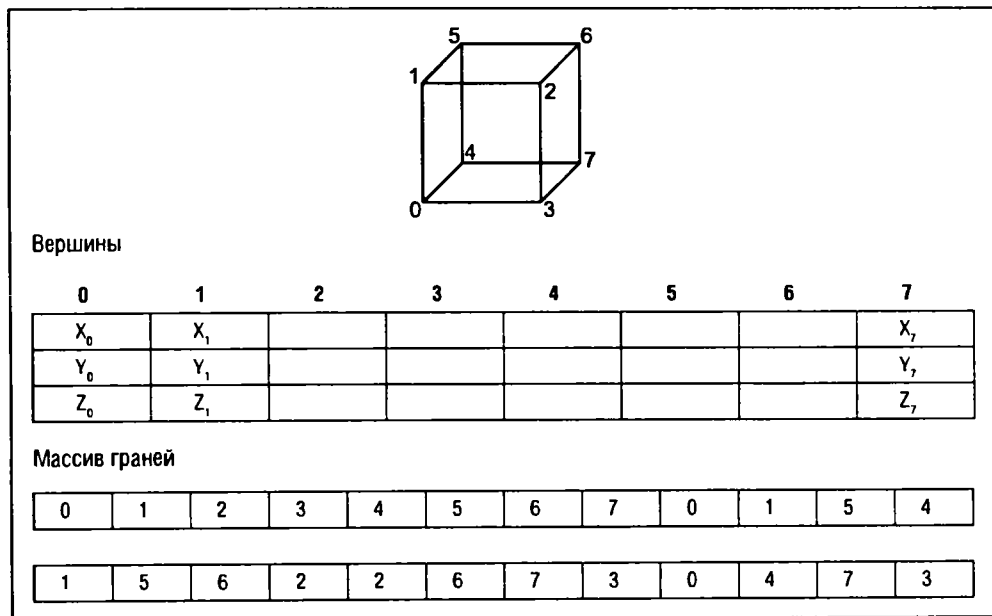


Рис. 18. Второй способ описания куба

4.1.3. Сеточные модели

Эти модели описывают координаты отдельных точек поверхности следующим способом. Каждому узлу сетки с индексами (i, j) приписывается значение высоты Z_{ij} , а индексам отвечают определенные значения плановых координат (x, y) отдельных точек объекта. Расстояние между соседними узлами сетки вдоль оси x равно Δx_i , а вдоль оси y равно Δy_j . На рис. 19 представлена равномерная сеточная модель рельефа, для которой шаги Δx_i и Δy_j имеют постоянные значения независимо от места расположения узлов сетки. Значения Δx и Δy назовем шагом сетки, а саму модель – шаговой моделью поверхности рельефа (ШМП).

Фактически такая модель представляет собой двумерный массив данных или матрицу, каждый элемент которой соответствует значению высоты.

С помощью ШМП в декартовой системе координат может быть описана только поверхность, для которой каждому значению плановых координат x, y соответствует только одно значение высоты h . Следовательно, даже поверхность в декартовой системе координат не может быть описана ШМП. Однако для описа-

ния поверхности можно использовать полярные координаты, в этом случае, например, поверхности второго порядка могут быть также описаны ШМР.

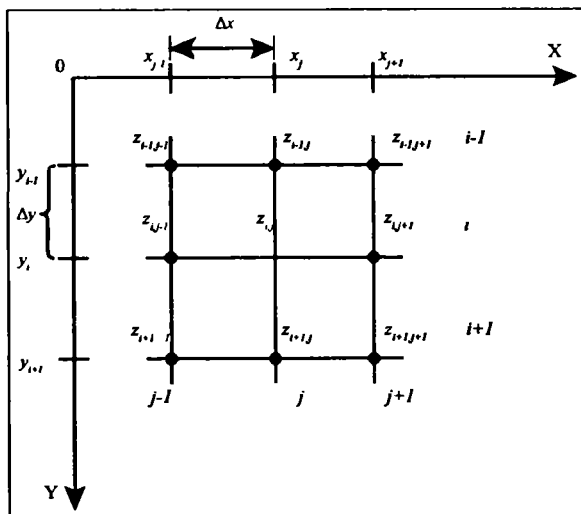


Рис. 19. Равномерная сеточная модель

Для вычисления значения высоты в любой узловой точке ШМР можно применить различные методы. Рассмотрим один из наиболее простых, основанный на пропорциональности отрезков (рис. 20). По этому методу сначала вычисляются индексы i и j одного из узлов:

$$i = \left\lfloor \frac{x_i - x_0}{\Delta x} \right\rfloor, \quad j = \left\lfloor \frac{y_j - y_0}{\Delta y} \right\rfloor,$$

где $\lfloor a \rfloor$ – целая часть числа «а», т. е. наибольшее целое, которое не превышает значение «а».

Применив линейную интерполяцию между двумя соседними узлами для каждой из осей x и y , найдем значение z в точках A и B (рис. 20) по формулам

$$z_A = z_j + (x - x_j)(z_{j+1} - z_j) / \Delta x, \quad z_B = z_{i+1,j} + (x - x_j)(z_{i+1,j+1} - z_{i+1,j}) / \Delta x.$$

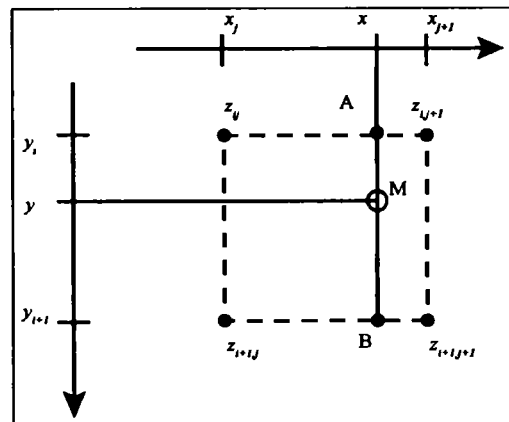


Рис. 20. Нахождение пространственных координат промежуточной точки

Считая, что пространственный отрезок AB точкой $M(x, y, z)$ делится пропорционально, из формулы находим конечное значение для z :

$$z = z_A + \frac{(y - y_A)(z_B - z_A)}{\Delta y}.$$

Отметим ряд положительных свойств применения ШМР:

- простота описания поверхностей;
- возможность быстро определить значение высоты любой точки поверхности в пределах данной модели;
- удобство описания и организации хранения данных о поверхности в компьютере.

К недостаткам использования для описания поверхности ШМР можно отнести:

- поверхности, соответствующие неоднозначности функции высоты, не могут быть описаны ШМР;
- для описания сложных поверхностей необходимо иметь большое количество узлов, которое накладывает определенные требования на вычислительные ресурсы компьютера;
- описание отдельных типов поверхностей может быть сложнее, чем в других моделях. Например, многогранная поверхность требует избыточный объем данных для ее описания ШМР по сравнению с полигональной моделью;
- во многих практических приложениях исходные данные о поверхности рельефа не имеют регулярный характер.

Ряд из указанных выше недостатков может быть устранен при использовании моделей описания поверхностей с неравномерной сеткой. Неравномерной сеткой назовем модель описания поверхности в виде множества отдельных точек $\{(x_0, y_0, z_0), (x_1, y_1, z_1), \dots, (x_{n-1}, y_{n-1}, z_{n-1})\}$, принадлежащих поверхности. Причем плановое расположение точек может иметь произвольный характер. Такую модель можно считать обобщением для некоторых рассмотренных нами выше моделей. Например, векторная полигональная модель и равномерная сетка могут считаться разновидностями неравномерной сетки.

Неравномерность задания опорных точек усложняет, по сравнению с ШМР, определение координат для других точек поверхности, которые не совпадают с опорными точками.

4.1.4. Алгоритмы триангуляции

Рассмотрим основные способы триангуляции. В дальнейшем исходные точки, по которым строится модель поверхности, будем называть опорными.

Существуют различные способы триангуляции. В одном способе производятся все возможные соединения, выбираются кратчайшие и удаляются все соединения, которые пересекаются с кратчайшими. Эта процедура повторяется со следующими кратчайшими соединениями до тех пор, пока ни одно соединение не пересекается. Результатом работы алгоритма является набор соединений

с минимальным расстоянием между соседними точками. В другом способе триангуляции выбираются две точки и к ним присоединяется третья, находящаяся вблизи от перпендикуляра, восстановленного из середины отрезка, соединяющего первые две исходные точки. Этот способ основан на создании треугольников близких к равносторонним.

Задачей построения триангуляции по заданному набору двумерных точек называется задача соединения заданных точек непересекающимися отрезками таким образом, чтобы в полученной триангуляции между двумя данными точками нельзя было построить новые отрезки без пересечения с уже существующими. Поскольку отрезки замыкают треугольники, мы будем считать их ребрами. Любой набор точек, за исключением тривиальных случаев, допускает несколько способов триангуляции, удовлетворяющих следующим свойствам:

- для одного n набора точек число образуемых треугольников не зависит от способа триангуляции;
- для набора из $n > 3$ точек, из которых i являются внутренними точками (т. е. находятся внутри выпуклой оболочки, построенной по внешним точкам), и условия, что неколлинеарных точек не может быть менее трех, число образуемых треугольников в результате триангуляции будет равно $n + i + 2$.

Имеется ряд алгоритмов машинной триангуляции: выпуклое обминание, триангуляция с минимальным краем, «жадная» триангуляция и т. д. В настоящее время в практических приложениях наиболее широко используется триангуляция Делоне.

Для формирования *триангуляции Делоне* нам потребуется несколько новых определений. Набор точек считается *круговым*, если существует некоторая окружность, на которой лежат все точки набора. Такая окружность будет *описанной* для данного набора точек. Описанная окружность для треугольника проходит через все три ее (неколлинеарные) вершины. Говорят, что окружность будет *свободной от точек* в отношении к заданному набору точек S , если внутри окружности нет ни одной точки из набора S . Но, однако, точки из набора S могут располагаться на самой свободной от точек окружности.

Триангуляция набора точек S будет триангуляцией Делоне, если описанная окружность для каждого треугольника будет свободна от точек. На ниже приведенной схеме триангуляции (рис. 21, а) показаны две окружности, которые явно не содержат внутри себя других точек (можно провести окружности и для других треугольников, чтобы убедиться, что они также свободны от точек набора). Это правило не соблюдается на схеме рис. 21, б – внутрь проведенной окружности попала одна точка другого треугольника, следовательно, эта триангуляция не относится к типу Делоне.

Можно сделать два предположения относительно точек в наборе S , чтобы упростить алгоритм триангуляции. Во-первых, чтобы вообще существовала триангуляция, мы должны полагать, что набор S содержит по крайней мере три точки и они не коллинеарны. Во-вторых, для уникальности триангуляции Делоне необходимо, чтобы никакие четыре точки из набора S не лежали на одной описанной

окружности. Легко видеть, что без такого предположения триангуляция Делоне не будет уникальной, ибо 4 точки на одной описанной окружности позволяют реализовать две различные триангуляции Делоне.

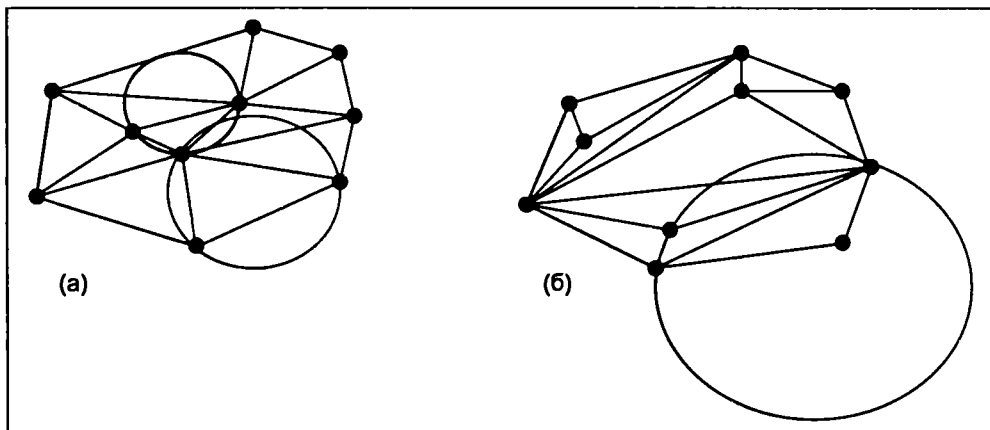


Рис. 21. Триангуляция Делоне

Наш алгоритм работает путем постоянного наращивания текущей триангуляции по одному треугольнику за один шаг. Вначале текущая триангуляция состоит из единственного ребра оболочки, по окончании работы алгоритма текущая триангуляция становится триангуляцией Делоне. На каждой итерации алгоритм ищет новый треугольник, который подключается к границе текущей триангуляции.

Определение границы зависит от следующей схемы классификации ребер триангуляции Делоне относительно текущей триангуляции. Каждое ребро может быть *спящим*, *живым* или *мертвым*:

- *спящие ребра*: ребро триангуляции Делоне является спящим, если оно еще не было обнаружено алгоритмом;
- *живые ребра*: ребро живое, если оно обнаружено, но известна только одна примыкающая к нему область;
- *мертвые ребра*: ребро считается мертвым, если оно обнаружено и известны обе примыкающие к нему области.

Вначале живым является единственное ребро, принадлежащее выпуклой оболочке, – к нему примыкает неограниченная плоскость, а все остальные ребра – спящие. По мере работы алгоритма ребра из спящих становятся живыми, а затем мертвыми. *Граница* на каждом этапе состоит из набора живых ребер.

На каждой итерации выбирается любое одно из ребер e границы и оно подвергается обработке, заключающейся в поиске неизвестной области, которой принадлежит ребро e . Если эта область окажется треугольником t , определяемым концевыми точками ребра e и некоторой третьей вершиной v , то ребро e становится мертвым, поскольку теперь известны обе примыкающие к нему области. Каждое из двух других ребер треугольника t переводится в следующее состояние: из спящего в живое или из живого в мертвое. Здесь вершина v будет называться

сопряженной с ребром e . В противном случае, если неизвестная область оказывается бесконечной плоскостью, ребро e просто умирает. В этом случае ребро e не имеет сопряженной вершины.

В результате алгоритма мы получаем отдельные треугольники, образующие триангуляцию. Они записываются в список. Такой список представляет полигональную поверхность, отображение которой сделать уже достаточно просто.

В алгоритмах, построенных на принципах триангуляции Делоне, с точки зрения вычислений реализуются такие важные процедуры построения ЦМР, как вставка дополнительной опорной точки в набор, удаление опорной точки из набора, сшивка двух исходных наборов точек.

При триангуляции Делоне для каждой новой точки находится треугольник, в который она попала, после чего точка соединяется с каждой из трех вершин треугольника. Затем для каждого нового треугольника проверяется круговой критерий и, если необходимо, делается переброска ребер. В среднем при каждой перестройке происходит несколько перебросок ребер, но теоретически возможно, что лавина перебросок захватит всю триангуляцию.

При удалении точки используется свойство симметрии кругового критерия. Так, если точка D лежит вне окружности, описанной вокруг треугольника ABC , то точка A лежит вне окружности, описанной вокруг треугольника BCD , и триангуляции внутри и вне многоугольника независимы. Это значит, что можно просто выдернуть ненужную точку, а перестройка триангуляции сведется только к триангуляции образуемого внутреннего многоугольника.

Свойство локальной независимости триангуляции лежит также в основе процедуры сшивки триангуляции, для чего достаточно перестроить только область перекрытия двух рассматриваемых наборов.

Классические алгоритмы для создания триангуляции Делоне могут быть классифицированы либо как итеративные, либо как алгоритмы типа «разделяй и властвуй» (D&C). Итеративные версии конструируют триангуляцию, начиная с любой внутренней точки или от границы области, и пошагово добавляют оставшиеся точки. Итеративные алгоритмы имеют $O(n^2)$ оценку скорости роста в худшем случае. Алгоритмы «разделяй и властвуй» рекурсивно разбивают набор данных на поднаборы равного размера до элементарных примитивов (треугольников) и затем соединяют результирующую сеть попарно. Эти алгоритмы могут иметь асимптотически оптимальную сложность $O(n \cdot \log(n))$.

4.2. Построение поверхностей на основе триангуляционной сети

Рассмотрим алгоритм построения ЦМР на основе аппроксимации триангуляционной сети высотных точек набором плоскостей, проходящих через узлы триангуляции. Данный метод использует естественное разбиение триангуляционной сети на множество непересекающихся треугольников и тот факт, что три пространственные точки единственным образом определяют плоскость в пространстве.

Для плоскости, проходящей через три точки (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) , можно записать условие компланарности трех векторов. Таким условием является равенство нулю их смешанного произведения. Смешанное произведение вычисляется с помощью определителя третьего порядка, строками которого являются координаты векторов в ортонормированном базисе.

Раскрывая определитель, получим коэффициенты уравнения плоскости.

$$A = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1);$$

$$B = - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1) - (x_3 - x_1)(z_2 - z_1);$$

$$C = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1).$$

Высота в некоторой точке (x, y) плоскости вычисляется:

$$z = - (A(x - x_1) + B(y - y_1)) / C + z_1.$$

Используя это уравнение, можно построить ЦМР в пределах заданного треугольника, определяемого точками (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) , (x_3, y_3, z_3) . На ребрах двух смежных треугольников в триангуляции значения высот вдоль всего ребра будут совпадать, однако данный способ не обеспечивает гладкого перехода ЦМР на ребре между смежными треугольниками, кроме того, ЦМР даже визуально не выглядит гладкой, что во многих случаях неприемлемо.

Для построения гладкой поверхности можно использовать полиномиальную функцию, проходящую через заданные точки. Однако даже для минимальной функции, например описанной уравнением

$$Z = f_1 + f_2(x - x_0) + f_3(y - y_0) + f_4(x - x_0)^2 + f_5(x - x_0)(y - y_0) + f_6(y - y_0)^2$$

нужно определить шесть коэффициентов уравнения, для чего необходимо задать не менее шести точек, через которые проходит полиномиальная поверхность. В триангуляции можно использовать тот факт, что количество точек для заданного треугольника и соседних треугольников, прилежащих к его сторонам, равно шести.

В результате составления и решения системы уравнений по шести точкам-вершинам текущего треугольника и смежных с ним треугольников определяются коэффициенты уравнения.

$$AX = B.$$

Эта система решается относительно коэффициентов полинома $X = A^{-1}B$. Данный подход позволяет провести гладкую поверхность через заданный треугольник триангуляционной сети, однако обладает двумя существенными недостатками.

1. Для определения коэффициентов полинома необходимо решить систему линейных уравнений, что ведет к значительным вычислительным затратам;
2. Построение гладкой поверхности для заданного треугольника не ведет автоматически к построению гладкой поверхности на сети треугольников, так как отдельные функции совпадают на вершинах треугольников, но плохо сшиваются на границах треугольников. Для обеспечения общей гладкой поверхности необходимо дополнительно уравнивать границы треугольников, в результате

генерация ЦМР не может быть осуществлена только локальными функциями и необходимо использовать глобальные для всей ЦМР методы, что не всегда возможно с точки зрения используемых вычислительных ресурсов.

Для построения гладкой поверхности можно использовать метод взвешенной интерполяции по ближайшему соседу, аналогичный методу интерполяции Гаусса (при $p = 2$ формулы совпадают).

$$f(x, y) = \frac{\sum_1^N \frac{f_i}{((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2)^{p/2}}}{\sum_1^N \frac{1}{((x - x_i)^2 + (y - y_i)^2)^{p/2}}}$$

Использование данной формулы интерполяции позволяет построить гладкую поверхность, проходящую через вершины треугольника (для построения поверхности используем только вершины треугольников). Однако по-прежнему на ребрах смежных треугольников не удастся обеспечить требуемую гладкость. Для обеспечения гладкости на ребрах треугольника необходимо предпринять дополнительные меры. Для этого построим собственно границы смежных треугольников и будем использовать эти границы как дополнительные точки, обеспечивающие гладкость интерполяции на ребрах смежных треугольников. Построение границы треугольника можно произвести методом билинейной интерполяции по четырем точкам, для того чтобы обеспечить учет поверхности смежного треугольника.

4.3. Преобразование векторной полигональной модели поверхности рельефа в равномерную сеточную модель

Для быстрого получения значения высоты любой точки поверхности рельефа используем равномерную модель поверхности рельефа. В этом разделе рассмотрим создание равномерной сетки (равномерной модели) на основе векторной полигональной модели. Исходными данными является триангуляция, содержащая связанные треугольники. Предлагается простой метод решения этой задачи.

Создаем равномерную сетку G в плоскости Oxy с заданным шагом.

В каждом узле $(x_i = a, y_j = b)$ этой равномерной сетки находим треугольник $\Delta(p_0, p_1, p_2)$, которому принадлежит данный узел.

Найдем пересечение прямой линии $x + y - a - b = 0$ с плоскостью, проходящей через три вершины треугольника $\Delta(p_0, p_1, p_2)$ в пространстве.

Полученная точка пересечения есть искомая точка равномерной модели.

Для иллюстрации работы метода была взята поверхность

$$f(x, y) = A_1 * \sin(4 * \rho * x) + A_2 * \sin(8 * \rho * x) + A_3 * \sin(4 * \rho * y) + A_4 * \sin(8 * \rho * y)$$

в моделируемой области $0 \leq x \leq 0,5; 0 \leq y \leq 0,5$.

В моделируемой области был задан набор опорных точек. В результате триангуляции Делоне эта неравномерная модель поверхности преобразуется в полигональную модель. Затем полученная полигональная модель преобразуется в равномерную модель.

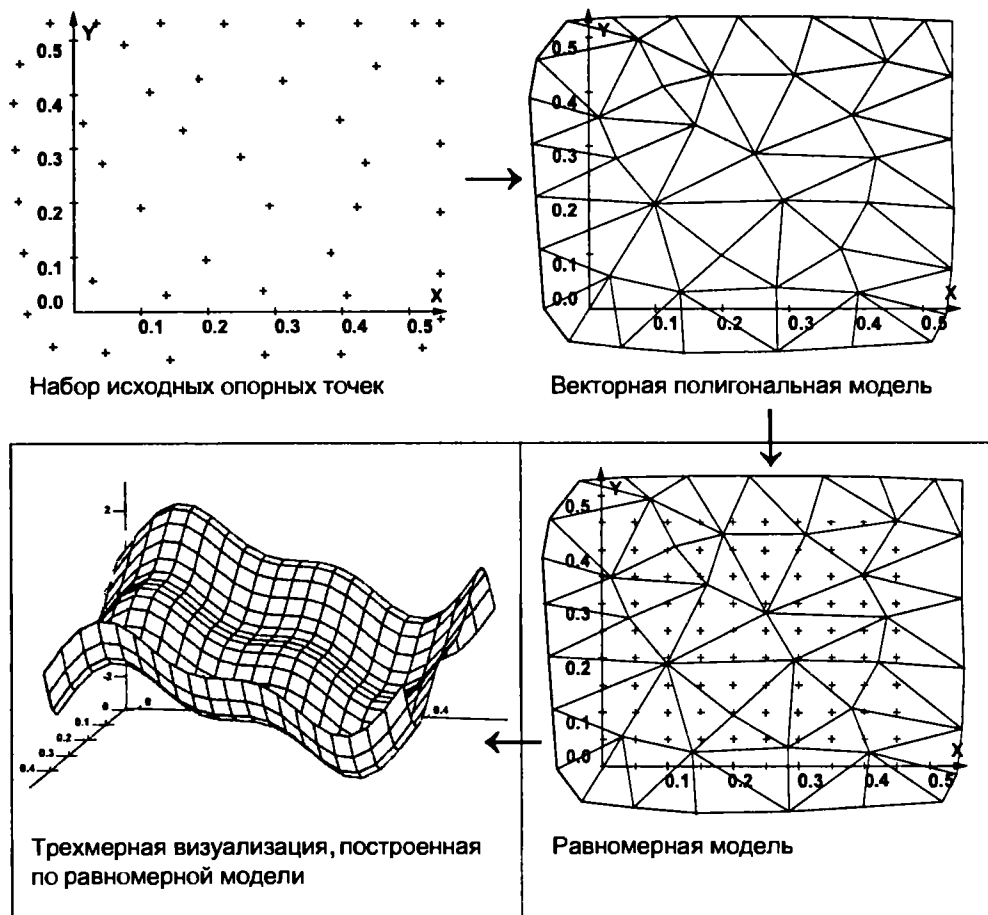


Рис. 22. Формирование одномерной модели

Были вычислены ошибки методов в узлах равномерной сетки. Среднеквадратическая ошибка вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (df(x, y))^2}{n-1},$$

где $df(x, y) = f_{Model} - f(x, y)$.

Получаем: $\delta = 0,002$ при 100 точках. Эти оценки говорят о том, что равномерная модель, вычисленная по этому методу, достаточно адекватна к искомой поверхности при большом наборе точек.

4.4. Алгоритмы формирования поверхности по узлам неравномерной сети

Обычно рельеф задается дискретным набором произвольно расположенных точек. В точках, где поверхность не задана, ее необходимо доопределить каким-либо образом. Рассмотрим требования, предъявляемые функциям, аппроксимирующим поверхность.

Будем предполагать, что поверхность может быть задана функцией $Z = f(X, Y)$ на области:

$$X_{\min} < X < X_{\max} \text{ и } Y_{\min} < Y < Y_{\max},$$

где $X_{\min}, X_{\max}, Y_{\min}, Y_{\max}$ определяют область в виде параллелограмма. Функция f неизвестна, однако, известны ее значения на наборе точек $\{X_i, Y_i\}$, где $i=1, 2, \dots, n$. Заданные таким образом точки будем называть контрольными точками. Обозначим значение поверхности в точке (X_i, Y_i) посредством $Z_i = f(X_i, Y_i)$.

Будем искать функцию f_l , аппроксимирующую функцию f . Эта функция будет использована в дальнейшем для формирования упорядоченной цифровой модели рельефа местности. Рельеф местности может быть различной формы, и мера пригодности той или иной аппроксимирующей функции зависит от окончательного использования алгоритма. Пусть F – фиксированный класс функций. Введем метрику в этом классе функций. Пусть определены f и g , принадлежащие классу F . Тогда действительное число d такое, что

- 1) $d(f, g) \geq 0$. $d(f, g) = 0$ в том и только в том случае, если $f = g$;
- 2) $d(f, g) = d(g, f)$;
- 3) $d(f, g) \leq d(f, h) + d(h, g)$ для любых h из F является метрикой в классе F .

Из определения вытекает $d(f, g) >$ или $= 0$ для всех f и g из класса F . Далее будем говорить, что функция f_l является оценкой f , если:

- 1) f_l принадлежит классу F ;
- 2) для любой другой функции g в классе F , $d(f, f_l) < d(f, g)$.

Функция f_l является лучшей оценкой f из F по критерию d .

Рассмотрим задачу оценки.

Пусть имеется совокупность точек (X_i, Y_i, Z_i) , где $i = 1, 2, \dots, n$, класс функций F , метрика d , найдем функцию f_l , которая является оценкой для f .

Обычно метрика d выбирается зависящей только от величин f и f_l в контрольных точках. В некоторых случаях, когда что-либо известно о функции f , выбор d может быть сделан более или менее удачно.

Задача оценки может быть, например, проиллюстрирована на методе наименьших квадратов.

Для любых функций f и g определим метрику $d(f, g)$ согласно равенству:

$$d(f, g) = \sum_{i=1}^n [f(X_i, Y_i) - g(X_i, Y_i)]^2.$$

Так как слагаемые здесь всегда положительны, то $d(f, g) = 0$ тогда и только тогда, когда

$$f(X_i, Y_i) = g(X_i, Y_i) \text{ для } i = 1, 2, \dots, n.$$

Использование полиномов в этом примере не играет решающей роли. Аппроксимацию полиномами можно заменить, например, рядами Фурье. Полиномиальные ряды используются чаще из-за их вычислительных преимуществ.

При использовании полиномов для аппроксимации необходим анализ. В некоторых случаях функция хорошо аппроксимируется полиномами низкой степени; например, во многих случаях гладкая, почти плоская поверхность может быть хорошо аппроксимирована полиномами второй степени. Такая аппроксимация дает преимущества в скорости вычисления, однако она становится неприменимой к разрывной функции.

До сих пор мы рассматривали аппроксимацию поверхности одной функции на всей области определения поверхности. Такую аппроксимацию поверхности иногда называют полной или глобальной аппроксимацией. Но для любой более или менее сложной поверхности такая аппроксимация не годится. Она не отражает ее локальных свойств. Для больших сложных поверхностей применяются так называемые локальные алгоритмы. Поверхность разбивается на участки. На этих участках производится аппроксимация поверхности. При аппроксимации накладыва-ется условие непрерывного перехода одной локальной аппроксимации в другую.

Сформулируем требования, которым должна удовлетворять локальная аппроксимирующая функция.

$$f(X_i, Y_i) = Z \text{ для } i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Это условие вытекает из требования, чтобы исходные точки лежали на поверхности аппроксимации.

Естественно потребовать, чтобы f не зависела от выбранной системы координат. Наиболее часто требуется, чтобы f не зависела от сдвига, поворота и масштабирования координат. Такое преобразование координат, скажем от координат (X, Y) к координатам (X_i, Y_i) , можно записать:

$$X_i = a + c * (X * \cos(T) + Y * \sin(T)),$$

$$Y_i = b + c * (-X * \sin(T) + Y * \cos(T)),$$

где a и b обозначают перенос, c – коэффициент масштабирования и T – угол поворота. Теперь предположим, что оценка сделана дважды. Для функции f и f_i в координатах X_i и Y_i , причем $f_i(X_i, Y_i)$ тождественно $f(X, Y)$. Тогда на аппроксимирующие функции накладыва-ется условие, формируемое следующим образом:

- аппроксимация есть инвариант относительно переноса, поворота и масштабирования, т. е. $f_i(X_i, Y_i)$ тождественно равно $f(X, Y)$. (2)

Необходимо заметить, что условие (2) не дает уверенности в инвариантности аппроксимации относительно преобразования, которое изменяет относительный масштаб X - и Y - координат. Аналогичные замечания применяют к линейным преобразованиям величины f .

Итак, мы имеем:

- если fl_2 есть аппроксимация функции f_2 , которая определена тождеством

$$f_2(X, Y) = d * f(X, Y) + l,$$

где d и l – фиксированные числа, тогда $fl_2(X, Y) = d * fl(X, Y) + l$. (3)

Аппроксимация должна быть «гладкой». Под этим требованием подразумевается обычно непрерывная дифференцируемость функции:

- функция fl должна быть непрерывно дифференцируема. (4)

Стоит отметить, что во многих приложениях (таких как геологическое картирование разрывов пластов) аппроксимируемая функция разрывна. В таких ситуациях тем не менее разрывы просты и они лежат вдоль линий с непрерывно дифференцируемой везде функцией. Такие функции могут быть аппроксимированы функциями, удовлетворяющими условию (4).

Если по функции аппроксимации строятся линии уровня, и точка (X_p, Y_p, Z_p) лежит на уровне исходной поверхности, то для функции аппроксимации в этой точке должно выполняться равенство

$$Z_i = fl(X_p, Y_p).$$

Фактически касательные плоскости к поверхностям, построенным по функциям f и fl , должны совпадать в рассматриваемой точке, т. е.

$$\frac{df}{dX}(X, Y) = \frac{dfl}{dX}(X, Y) \quad \text{и} \quad \frac{df}{dY}(X, Y) = \frac{dfl}{dY}(X, Y).$$

Так как градиент fl не всегда известен, мы ослабим это требование до следующего:

- производные по направлению fl аппроксимируют производные по направлению функции f . (5)

Хотя это требование недостаточно строгое, им можно воспользоваться для оценки производных по направлению функции f в каждой точке (X_p, Y_p) и далее требовать, чтобы производные по направлению функции fl были равными этой оценке в каждой точке.

Рассмотрим теперь один алгоритм аппроксимации поверхности, и покажем, что он удовлетворяет выдвинутому критерию.

Рассмотрим точку (X, Y) . Из набора контрольных (X_p, Y_p) , $i = 1, 2, \dots, n$, найдем k точек, находящихся вблизи точки (X, Y) . Для простоты изложения предположим, что выбранными точками являются точки $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_k, Y_k)$. Здесь мы не будем рассматривать, что означает термин «вблизи», и предположим, что эти k точек всегда существуют.

Пусть r означает расстояние между (X, Y) и (X_p, Y_p) , тогда

$$r = ((X - X_p)^2 + (Y - Y_p)^2)^{1/2}.$$

Определим $fl(X, Y)$ как взвешенное среднее величин Z_1, Z_2, \dots, Z_k , т. е.

$$fl(X, Y) = \sum_{i=1}^k W_i Z_i,$$

где $W_i, i = 1, 2, \dots, k$ – неотрицательные числа, удовлетворяющие условию

$$\sum_{i=1}^k W_i = 1.$$

Весовые коэффициенты зависят от взаимного расположения рассматриваемых точек. Из условия (2) следует, что весовые коэффициенты должны зависеть только от расстояния между точками r_i , т. е. $W_i = W_i(r)$ для $i=1, 2, \dots, k$, где W_i – неотрицательные функции.

Далее для W_i мы имеем

$$\sum_{i=1}^k W(r_i) = 1.$$

Условие (1) приводит к выводу: $W(0) = 1$.

Условие (3) удовлетворяется автоматически, однако условие (4) не выполняется. Легко проверить, что частные производные $d f/dx$ и $d f/dy$ претерпевают разрыв в контрольных точках. Это, в частности, верно для часто используемого весового коэффициента:

$$W_i = \frac{r_i^s}{r_1^s + r_2^s + \dots + r_k^s},$$

где показатель степени s – неотрицательное число.

Предположим, что частные производные по направлению известны в каждой контрольной точке. Производные по направлению и значение функции в точке определяют касательную плоскость к поверхности в этой точке. Предположим, что касательная плоскость к точке (X_p, Y_p) дана уравнением:

$$Z_i = A_i + B_i * X_i + C_i * Y_i,$$

Пусть k – фиксированное положительное число. Посмотрим функцию аппроксимации f в точке (X_p, Y_p) . Найдем k числовых точек, ближайших к (X_p, Y_p) . Предположим, что их индексы i_1, i_2, \dots, i_k .

Пусть

$$Z_i = A_i + B_{ij} * X_i + C_{ij} * Y_i, i = 1, 2, \dots, k.$$

Итак, Z_j есть Z -координата пересечения вертикальной линии через точку (X, Y) с касательной плоскостью к поверхности в числовой точке ij . Аппроксимация находится как взвешенное среднее величин Z_i , то есть

$$f(X_j, Y_j) = \sum_{i=1}^k W_i Z_i.$$

Если W_j удовлетворяет этим условиям, условие (5) также удовлетворяется. Итак, осталось только выбрать соответствующую функцию W .

Пусть $R = r/r_{max}$. Заметим, что функция $(1-R)^2$ удовлетворяет нашему требованию для $R = 1$.

Можно легко показать, что обобщение

$$W(r, r_{\max}) = \frac{(1-R)^2 \cdot R^s}{\sum_{j=1}^k (1-R_j)^2 \cdot R_j^s}, \quad R_i = r_i / r_{\max}$$

удовлетворяет всем условиям, включая условия нормировки, если показатель степени меньше нуля.

Рассмотрим теперь алгоритм аппроксимации поверхности с использованием полученной функции и определения значений поверхности в узлах неравномерной координатной сети.

Пусть имеется некоторая точка поверхности. Очевидно, что значение высоты поверхности в этой точке взаимосвязано с значением высот в соседних точках. С удалением от этой точки такая связь будет теряться. Можно предположить, что существует окрестность точки с радиусом R , такая, что все точки, лежащие внутри этой окрестности, существенно влияют на значение поверхности в рассматриваемой точке, а точки, лежащие вне этой окрестности, на значение поверхности в рассматриваемой точке не влияют. Поверхность, обладающую таким свойством, будем называть R -связной.

Задача определения высот поверхности в узлах неравномерной координатной сети делится на две части: определение касательной плоскости к поверхности во всех произвольно расположенных точках и, собственно, определение значений высот поверхности в узлах неравномерной координатной сети.

Пусть поверхность определена набором произвольно расположенных точек $\{X_k, Y_k, P_k\}, k = 1, 2, \dots, nk$. Результатом работы алгоритма являются значения поверхности

$$\{\varphi_{ij}\}, \text{ где } i = 1, 2, \dots, ni; j = 1, 2, \dots, nj$$

в узлах неравномерной координатной сети, образованной пересечением координат $\{\zeta_i\}, i = 1, 2, \dots, ni$ и $\{\eta_j\}, j = 1, 2, \dots, nj$.

Определим касательную плоскость в некоторой произвольно расположенной точке k . Для этого просматриваются все произвольно расположенные точки поверхности и принимаются во внимание только точки, принадлежащие R -окрестности точки k , т. е. удаленные от точки k не далее, чем на R .

Предположим, что произвольная точка удовлетворяет этому соотношению. Тогда можем определить две частных производные поверхности по координатам X и Y в рассматриваемой точке k относительно точки m :

$$(dP/dX)_{km} = (P_k - P_m)/(X_k - X_m);$$

$$(dP/dY)_{km} = (P_k - P_m)/(Y_k - Y_m).$$

Касательная плоскость к поверхности в точке k определяется двумя частными производными в этой точке $(dP/dX)_k$ и $(dP/dY)_k$, которые получаются как взвешенное среднее частных производных поверхности в точке k относительно всех точек m , принадлежащих R -окрестности точки k .

Перейдем к формированию высот поверхности в узлах неравномерной координатной сети. Значение высоты поверхности в узле сети складывается из значений высот поверхности в произвольно расположенных точках, перенесенных по касательной плоскости к поверхности с учетом весовых коэффициентов. Таким образом,

$$\varphi_{i,j} = \sum_{k=1}^{kn} W_k \varphi_k, \quad i = 1, \dots, ni; j = 1, \dots, nj,$$

где W_k – весовой коэффициент точки k ,

φ_k – значение высоты поверхности в произвольно расположенной точке R , перенесенной по касательной плоскости в узел сети.

Все точки принадлежат R -окрестности рассматриваемого узла сети.

Нетрудно заметить, что

$$PHI_k = P_k + (dP/dX)_k * (\zeta_i - X_k) + (dP/dY)_k * (\eta_j - Y_k).$$

Весовые коэффициенты зависят от расстояния между рассматриваемыми точками. Расстояние между произвольным узлом с координатой XX и YY и некоторой точкой k из набора произвольно расположенных точек определяется как

$$r_k = ((\zeta - X_k)^2 + (\eta - Y_k)^2)^{1/2}.$$

Чтобы обеспечить монотонное убывание весового коэффициента, весовые коэффициенты должны быть обратно пропорциональны r^s , где $s = 1, 2, 3 \dots$ (в рассматриваемом алгоритме $s = 2$).

Пусть $r = r_k/R$, тогда

$$W_k = W(r_k, R) = \frac{(1-r)/r^s}{\sum_{m=1}^{nk} (1-r_m)^2 / r_m^s}.$$

Коэффициент $(1-r)^{**2}$ вводится из условия равенства нулю весового коэффициента на границе окрестности.

$$\sum_{m=1}^{nk} (1-r_m)^2 / r_m^s, \text{ нормировочный коэффициент, получаемый из условия}$$

$$\sum_{m=1}^{nk} W(r_k, R) = 1$$

Рассмотрим, как влияет радиус связности на форму поверхности. Если радиус связности мал, в окрестность попадает мало точек. Возможны скачки при переходе от одной точки к другой. При увеличении радиуса связности увеличивается количество точек, попадающих в область. Поверхность становится более гладкой. Значения высот усредняются. Увеличивается время счета программы.

Радиус связности должен быть по возможности мал, чтобы не увеличивать время счета программы, и в то же время достаточно большим, чтобы в окрестность любого узла попадала хотя бы одна произвольно расположенная точка. Таким

образом, радиус связности можно определить как расстояние между узлами сети и произвольно расположенными точками, минимальное для данного узла и максимальное для всех таким образом выбранных расстояний.

Описанный алгоритм реализуется в виде отдельной программы. Программа состоит из двух частей. В первой части программы определяются производные в каждой заданной точке поверхности.

Производные, если они известны, могут также быть заданы пользователем. При определении производных может создаться ситуация, при которой в R -окрестность рассматриваемой точки не попадает ни одна другая произвольно расположенная точка. В этом случае значение производной устанавливается равным единице. То есть предполагается, что поверхность около данной точки плоская.

Во второй части программы определяются значения поверхности в узлах неравномерной координатной сети. Если в R -окрестность узла сети не попадает ни одна произвольно расположенная точка, значение высоты поверхности в этом узле оказывается равным нулю. Если координаты сети совпадают с координатами произвольно расположенной точки, значение высоты поверхности в этом узле устанавливается равным значению высоты в произвольно расположенной точке.

Радиус связности поверхности либо устанавливается пользователем, либо определяется внутри программы.

4.5. Построение изолиний

Одной из важных задач машинной графики является задача построения карт линий равного уровня. Эта задача возникает во многих областях науки и техники, и автоматизация ее дает большой экономический эффект. Поэтому неудивителен такой большой интерес, проявленный к ней в нашей стране и за рубежом.

Пусть имеется функция от двух переменных $W = W(X, Y)$, определенная на некоторой области. Возьмем для простоты прямоугольную область R ($a < X < b$, $c < Y < d$). Пусть функция $W = W(X, Y)$ известна и нам необходимо начертить n линий уровня:

$$W(X, Y) = Ck, k = 1, 2, \dots, n.$$

Введем в область сеть по X - и Y - координатам. Обозначим узлы сети (i, j) . Если $w(i, j)$ задана, то мы можем определить матрицу $\|w(i, j)\|$ значений функций w в каждой вершине ячейки.

Задача может быть решена рассмотрением двух шагов.

1. Вычисляются координаты точек пересечения линий уровня с ребром каждой ячейки.
2. Найденные точки соединяются в линии уровня.

При этом производятся два вида интерполяции на ребрах (шаг 1) и внутри ячейки (шаг 2).

Можно выделить два класса методов обнаружения и вычерчивания изолиний. В первом классе сначала находятся все точки пересечения данной изолинии с ребрами ячеек (шаг 1), а потом, собственно, проводится вся линия (шаг 2). В методах

второго класса точки изолиний обнаруживаются одна за другой при движении вдоль изолиний. Таким образом, шаг 1 и шаг 2 производятся вместе.

Методы, предложенные в классе 1, требуют запоминания всех точек пересечения. В этих методах, однако, можно избежать запоминания элементов матрицы $\|w(i, j)\|$, если все кривые проводятся последовательно.

В методах второго класса, наоборот, требуется запоминание элементов матрицы, а не точек пересечения. Методы второго класса удобны для разметки различных кривых, так как каждая линия обнаруживается после другой. Этот метод простой и быстрый. Но при этом возникает задача обнаружения различных участков одной и той же линии уровня. Обычно линия уровня состоит из различных ветвей, не имеющих общих точек. Возникает задача их распознавания. Чтобы двигаться вдоль линии уровня, необходимо найти хотя бы одну точку на ней.

Примером метода из первого класса может быть следующий алгоритм. Находим все точки пересечения, проверяя ребра ячеек, строка за строкой, и потом в каждой ячейке соединяем пару точек.

Такой метод очень просто программируется. Но он неэффективен, так как не допускает удобной разметки линий уровня и большое время занимает проведение линий, особенно при помощи графопостроителей.

Чтобы минимизировать движение пера графопостроителя, удобно чертить каждую линию уровня непрерывно по ряду точек, в том порядке, как они следуют вдоль линии уровня каждая за другой.

Можно улучшить описанный алгоритм. Для этого сначала определяются все точки пересечения между ребрами сети, следуя нумерации ячеек, а затем они упорядочиваются сравнением точек между собой. Однако точки в этом случае находятся в неупорядоченной последовательности, и критерий для их упорядочения найти нелегко.

Учитывая предыдущие замечания, остановимся на методах второго класса. Эти методы позволяют находить линии уровня для любого числа областей и для любого количества точек. В этих методах проверяются ребра ячеек с целью нахождения их пересечений с линиями уровня. Такая проверка необходима для нахождения начальной точки изолинии для дальнейшего ее обнаружения.

Ребро сети пересекается с линией уровня $W = C$, если значение уровня C находится между значениями функции в двух узлах ребра сети. Таким образом, мы можем узнать, пересекается ли ребро ячейки с уровнем, не вычисляя точку пересечения. Чтобы узнать, пересечено ли ребро, можно применить два теста:

$$\min(w(A), w(B)) < C < \max(w(A), w(B)) \quad (6)$$

и

$$(w(A)-C)*(w(B)-C) < 0. \quad (7)$$

Для обнаружения всех пересечений ребер сети с линиями уровня необходимо:

- 1) тест 6, 7 или аналогичные тесты применить ко всем ребрам;
- 2) запомнить результаты этих тестов. Для каждого ребра необходимо запомнить двоичную переменную, значение которой зависит от выполнения некоторого

события (пересечено ребро или не пересечено). Эту информацию для экономики памяти можно помещать в том же массиве, где хранятся элементы матрицы $||w(i, j)||$, используя часть машинного слова.

Задача проведения линий уровня разбивается на две части: первая, назовем ее «локальной задачей», рассматривает поведение изолинии внутри ячейки и в соседних ячейках; вторая, назовем ее «общей задачей», рассматривает поведение изолиний во всей области.

Итак, рассмотрим локальную задачу. Если какое-либо ребро ячейки (i, j) пересекается линией уровня, тогда одно из оставшихся трех ребер тоже будет пересечено этой же линией. В особом случае одна линия уровня может пересечь все ребра ячейки.

Предположим вначале, что это не так. Чтобы продолжить линию уровня внутри ячейки, рассмотрим четыре шага.

1. Находим ребро ячейки, пересеченное линией уровня.
2. Если пересеченное ребро найдено, для того чтобы вновь не рассматривать его, в массив, хранящий информацию о пересечениях ребер с линиями уровня, заносится признак обнаружения этого ребра.
3. Координаты пересечения определяются линейной интерполяцией и посылаются графопостроителю для проведения линии уровня внутри ячейки.
4. Анализ продолжается для ячейки, соседней с пересеченным ребром путем повторения этой же процедуры сначала от первого шага.

Обнаружить линию уровня точка за точкой можно только после того, как найдена начальная точка. Перейдем к рассмотрению «общей задачи».

Изучение поведения линии уровня на всей заданной области определения функции может быть разбито на две части.

1. Нахождение начальной точки, из которой следует линия уровня. Поиск производится изучением всех ребер сети в любом произвольно выбранном порядке до обнаружения точки пересечения. Линия находится до ее конца. Таким образом, все ветви могут быть найдены. Нет необходимости изучать все ребра сети. Можно исследовать ребра вдоль ее границы области и потом проверить, например вертикальные ребра, исследуя столбец за столбцом. Линия уровня должна встретить границу области или вертикальное ребро хотя бы один раз. Запоминание пересеченных ребер позволяет избежать повторения одних и тех же ветвей. Каждая ветвь полностью хранится в памяти, довольно просто проводится разметка линий, поскольку точки следуют одна за другой.
2. Изучение конечных точек линий. Если линия замкнутая, конечная точка будет найдена при выходе на уже рассматривавшееся ребро. Незамкнутая линия уровня начинается и кончается на границе области. Поиск линии уровня не может быть прекращен другим способом, кроме как при выходе на начальную точку или на границу области.

Сделаем еще два замечания. Для замкнутой линии начальная точка является также и конечной точкой, и новая ветвь не должна начинаться до окончания старой. Удобно рассматривать вначале линии уровня, пересекающие границу области. Это дает уверенность в том, что каждая ветвь будет найдена полностью до ее окончания.

При рассмотрении локальной задачи могут встречаться две группы особых ситуаций:

- а) вырождение ячейки – ребра ячейки пересечены линией уровня более двух раз;
- б) вырождение узла – линия проходит точно через вершину ячейки.

Рассмотрим группу «а». Тесты обнаружения пересеченных ребер (1) и (2) могут обнаружить только одно пересечение с ребром. Поэтому ячейка сети не может иметь более четырех пересечений. Возникает задача соединения четырех точек линии уровня, возможны три способа соединения.

Если мы будем соединять точки методом, описанным в локальной задаче, точки ячейки будут соединяться произвольным образом, в зависимости от того, какое ребро будет найдено первым, и от порядка проверки ребер на пересечение. Вырожденная ячейка будет встречаться дважды: первый раз как вырожденная, а второй раз как не вырожденная.

Сделаем несколько замечаний.

1. Мы не можем знать, какой способ соединения точек правильный, так как функция известна только в четырех вершинах ячейки. Возможен произвольный выбор критерия соединения точек.
2. В любой вырожденной ячейке функция должна иметь максимум или седловую точку. В случае седловой точки будет верна конфигурация (б) и величина функции в седловой точке равна C .
3. Во всей области имеется всего несколько вырожденных ячеек.
4. Если вводить какой-нибудь критерий выбора из трех конфигураций, локальная задача значительно усложняется, так как тогда необходимо делать тест для каждой ячейки на вырожденность.

Рассмотрим теперь вырождения второго вида. В зависимости от выбора теста (1) или (2) и от конкретной ситуации, пересечение может быть повторено дважды или линия оборвется.

Рассмотрим вырожденный узел (i, j) . Если мы применяем тест (2), может произойти потеря точки пересечения и линия оборвется. Чтобы избежать обрыва линии, можно придать небольшое приращение величине $w(i, j)$. Это изменение будет иметь место временно при предварительном изучении, чтобы обнаружить пересечение, и не будет влиять на действительное значение координат пересечения.

Если все четыре узла сети совпадают с значением уровня, то необходимо прибавить некоторое значение ко всем четырем вершинам ячейки.

Чтобы более точно изучить поведение линий уровня в случае вырождений, необходимо задать более частую сеть.

Рассмотренные алгоритмы были реализованы в виде программных процедур. В программе предполагается, что поверхность задана своими значениями в узлах неравномерной координатной сети:

$$i = 1, 2, \dots, ni,$$

$$Z_{ij} = Z(X_i, Y_j),$$

$$j = 1, 2, \dots, nj.$$

Введем набор уровней $Z = Ck, k = 1, 2, \dots, nk$. Доопределим поверхность на ребрах ячеек координатной сети, используя линейную интерполяцию, тогда поверхность будет задана пространственной сетью, узлы которой соответствуют узлам координатной сети. Линии уровня можно получить, последовательно соединяя точки пересечения плоскости уровня с ребрами пространственной сети.

Процесс обнаружения линий уровня делится на два шага. Сначала просматриваются все ребра пространственной сети и выявляются начальные точки изолиний. По начальной точке находится вся изолиния путем просмотра соседних ячеек пространственной сети по ходу обнаружения линии до ее окончания.

Различаются незамкнутые изолинии, начинающиеся и заканчивающиеся на границе области, и замкнутые, лежащие целиком в области определения поверхности. Для обнаружения начальных точек незамкнутых изолиний осуществляется обход по границе области. Как только начальная точка обнаружена, производится поиск всей изолинии до ее окончания, т. е. до выхода ее на границу области.

Для обнаружения замкнутых изолиний необходимо просматривать все ребра поверхностной сети, которые лежат внутри области. Но, учитывая, что ребро сети, лежащей на поверхности, не может быть пересечено плоскостью уровня два раза, процесс просмотра ребер можно упростить и просматривать только ребра, расположенные вдоль оси Y . Каждый раз, после обнаружения начальной точки, прослеживается вся изолиния до ее возврата в начальную точку.

Как только построены все линии, соответствующие уровню C_k , осуществляется переход к следующему $C_k + 1$ уровню и процедура повторяется.

Чтобы исключить повторное проведение изолиний, в процессе отслеживания регистрируется факт ее прохождения через данное ребро (ребро пространственной сети может пересечься с плоскостью уровня только один раз). Информация о проведенных ребрах хранится в массиве и используется для определения конца замкнутых изолиний. Кроме того, этот массив служит для задания области, которая может иметь довольно сложную конфигурацию.

Каждый элемент этого массива (назовем его IT) содержит информацию о пересечении с изолиниями двух ребер, соседних с вершиной, которой соответствует этот элемент. Так, в элементе $IT(I, J)$ содержится информация о пересечении ребер ab и bd .

Если изолиния пересекает ребро

ab , к $IT(I, J)$ добавляется 2,

bc , к $IT(I, J+1)$ добавляется 1,

cd , к $IT(I+1, J)$ добавляется 2,

da , к $IT(I, J)$ добавляется 1.

Таким образом, линия уровня пересекает сторону

ab , если $IT(I, J) > 2$;

bc , если $IT(I, J+1) = 1$ или 3;

cd , если $IT(I+1, J) > 2$;

da , если $IT(I, J) = 1$ или 3.

При проведении новой изолинии массив ИТ восстанавливается в первоначальное состояние. Однако, если этот массив не восстанавливать для всей карты изолиний, будет наблюдаться эффект своеобразного экранирования изолиний при их большой густоте.

Обнаружив начальную точку изолинии, рассматриваем положение линии внутри ячейки. Если линия пересекла ребро ячейки, она должна пересечь и одно из оставшихся трех ребер. Ребро пространственной сети считается пересеченным уровнем, если одна его вершина лежит под уровнем, а другая над ним. То есть можно применить тест:

$$(Z(a)-C_k) * (Z(b)-C_k) < 0.$$

Найдя второе пересекающееся с уровнем ребро координатной сети, рассматриваем ячейку, соседнюю с этим ребром, и повторяем предыдущую операцию.

Всякий раз, когда линия проводится в новую ячейку, переопределяется число KENT согласно способу входа. Возьмем произвольную ячейку $abcd$. Если вход со стороны ab , то $KENT = 1$,

со стороны bc , то $KENT = 2$,

со стороны cd , то $KENT = 3$,

со стороны da , то $KENT = 4$.

Координаты точек пересечения плоскости уровня с пространственной сетью находятся линейной интерполяцией. Эти координаты запоминаются в буферном массиве ЭВМ. Линии вычерчиваются при достижении границы области (либо ранее пройденного ребра сети в случае замкнутых линий) и при окончании буферного массива.

При поиске линий уровня на неравномерной координатной сети встречаются две группы особых ситуаций:

- плоскость уровня пересекает все четыре ребра ячейки;
- линия проходит точно через вершину ячейки.

Первый случай встречается при попадании седловины или экстремальной точки поверхности внутрь ячейки. Причем, если седловая точка находится на той же высоте, что и плоскость уровня, линии уровня пересекаются, а если седловая точка лежит над (под) уровнем, линия уровня огибает две из четырех исходных точек, которые лежат над (под) уровнем.

Так как поверхность определена только в вершинах ячейки, мы не можем знать, где находится место локализации седловой точки. Можно предположить, что она имеет высоту, равную j суммы высот исходных точек, образующих ячейку.

Вторая особая ситуация может привести либо к повторению линии два раза, либо к обрыву линии. Чтобы избежать этого, к узлу, лежащему на плоскости уровня, временно добавляется малое значение (так, например, в нашей программе добавляется 0,000000001), что позволяет устранить особую ситуацию, вызывая невидимую ошибку в проведении изолинии. В машинной графике часто возникает задача проведения гладкой кривой через последовательность точек на плоскости $\{X_n, Y_n\}$, $n = 1, 2, \dots, nk$. Задача решается подбором какой-либо кривой на плоскости,

проходящей через заданные точки, и интерполяцией по этой кривой дополнительных точек.

Так как исходных точек много, нельзя подобрать какую-либо простую кривую, описываемую известными аналитическими функциями. Для аппроксимации точек применяются сплайны.

Выберем базисную функцию сплайна. Базисной функцией сплайна может быть любая непрерывная функция. Чаще всего в качестве базисных функций используют полиномиальные, гармонические и гиперболические функции. На каждом интервале между двумя точками подберем базисную функцию таким образом, чтобы обеспечить непрерывность общей кривой в исходных точках, а также непрерывность производных в этих точках. Полученная общая кривая и будет называться сплайном, а функция, описывающая эту кривую, сплайн-функцией.

При решении задачи проведения гладкой кривой через последовательность точек на плоскости возникают следующие вопросы:

- какую функцию взять в качестве базисной;
- как поступать в случае неоднозначной функции;
- с какой частотой проводить интерполяцию точек.

На вычисление значений полиномиальных функций затрачивается меньше машинного времени, поэтому полиномы наиболее часто берутся в качестве базисной функции. Степень полиномиальной функции определяется из эмпирических соображений. Обычно кривые, описываемые полиномиальными сплайнами второй степени, не являются достаточно гладкими, обнаруживается слабая связь между отдельными кривыми в общей кривой. Все это приводит к слабому эстетическому восприятию кривой.

Кубические сплайны – сплайны, в которых в качестве базисной функции выбраны полиномы третьей степени, достаточно точно отображают локальные свойства кривой. Кривые, описываемые кубическими сплайнами, обеспечивают в достаточной мере гладкость кривой. Однако кубические сплайны часто имеют посторонние точки перегиба кривой, которых нет в аппроксимируемой кривой.

Полиномиальные сплайны выше третьей степени в машинной графике применяются крайне редко, так как их применение редко увеличивает сложность алгоритма и время работы ЭВМ, но не дает значительного улучшения вида кривой.

Значит, для аппроксимации необходимо использовать кривую, аналогичную кубическому сплайну, но без его недостатков. Желательно при этом, чтобы форму кривой можно было менять. Всеми этими свойствами обладает «сплайн с натяжением». В основе этого сплайна лежит функция, описываемая парой экспонент.

Существует два подхода к проведению неоднозначных кривых:

- разделение неоднозначной кривой на однозначные области;
- параметрическое задание кривой.

В первом случае возникает вопрос стыковки однозначных кривых в общую кривую. Вопрос осложняется тем, что на концах однозначных кривых должны

быть бесконечные производные. Эта трудность может быть обойдена введением специального вида сплайна.

Более простое решение вопроса – использование параметрической формы задания кривой. Для этого выбирается независимая переменная T и вычисляются сплайн-приближения $X(T)$ и $Y(T)$, а затем строится кривая, проходящая через точки (X_i, Y_i) , соответствующие T_i . Параметром, например, может быть последовательность натуральных чисел $T_i = i$.

Однако при параметрическом задании кривой результирующая кривая может иметь петли. Параметризация сплайна длинами хорд полигональной кривой в значительной мере снижает вероятность появления петель. Увеличение коэффициента натяжения в «сплайне с натяжением» позволяет полностью избежать эту ситуацию.

Если гладкое восполнение кривой производится программными методами, на экран дисплея или на графопостроитель передаются координаты восполненной кривой. Эти координаты соединяются прямыми линиями. Таким образом, любая гладкая кривая будет состоять из совокупности прямых линий. Эмпирически установлено, что если длина прямых участков не превышает 2 мм, то вся кривая воспринимается как гладкая.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды трехмерных моделей геоданных.
2. Дайте классификацию алгоритмов триангуляции.
3. Дайте сравнительный анализ моделей триангуляции и модели сети прямоугольников.
4. Проведите сравнение различных методов построения изолинейных карт.

ГЛАВА 5

Методы отображения и визуализация геоданных

5.1. Технические средства машинной графики

5.1.1. Устройства ввода графических изображений

Мышь – наиболее распространенный тип манипуляторов. Манипуляторы осуществляют непосредственный ввод информации, указывая курсором на экране дисплея команду или место ввода данных. В корпусе современной механической мыши установлены кнопки для выполнения действий и шарик для ее перемещения по коврику. Качество мыши определяется ее разрешающей способностью, которая измеряется числом точек на дюйм – dpi (dot per inch). Эта характеристика определяет, насколько точно курсор будет передвигаться по экрану. Для мышей среднего класса разрешение составляет 400–800 dpi. Мыши различаются:

- по способу считывания информации (механические, оптико-механические, оптические);
- количеству кнопок (2- и 3-кнопочные мыши);
- способу соединения (проводные и беспроводные мыши).

Установка колесика между двумя традиционными кнопками мыши обеспечивает перемещение по документу без использования экранных линеек прокрутки.

Первые беспроводные мыши появились в середине 1990-х гг. Беспроводные мыши используют для передачи информации инфракрасный луч или радиосигнал.

Первые оптические мыши работали на принципе отражения света, исходящего от одного светодиода, от специальной подложки с координатной сеткой. Теперь в качестве приемника отраженного света используется ПЗС-матрица, можно сказать, миниатюрная видеокамера, передающая в цифровой процессор изображение освещаемого источником света участка подстилающей поверхности. Мышь оснащена небольшим красным светодиодом, который подсвечивает поверхность.

Специализированный процессор, находящийся внутри мыши, имеет производительность примерно 18 млн операций в секунду. Он выделяет отдельные участки изображения и определяет их перемещение относительно предыдущего снимка. Компьютер передвигает курсор на экране в соответствии с информацией, полученной от мыши. Благодаря большой частоте опроса движения курсора выглядят плавными. Такая мышь незаменима при работе с графическими приложениями.

Она не требует специального коврика. Не нужно проводить гигиеническую протирку коврика, шарика мыши и роликов.

Графический планшет, дигитайзер, используется для ввода в компьютер чертежей или рисунков. Изображение преобразуется в цифровые данные. Условия создания изображения приближены к реальным, достаточно специальным пером сделать рисунок на специальной поверхности. Результаты работы воспроизводятся на экране монитора и в случае необходимости могут быть распечатаны на бумаге. Дигитайзерами обычно пользуются архитекторы и дизайнеры.

Перо является источником сигнала, который принимает антенна, находящаяся внутри планшета. Она представляет собой проволочную сетку с шагом 3–6 мм или аналогичную печатную плату. Антенна принимает сигнал и определяет положение манипулятора, а также другие данные. Физический предел разрешения планшета определяется шагом сетки. Погрешность современных графических планшетов не более 0,1 мм.

Сейчас планшеты стали весьма популярны в связи с бурным развитием Интернета и популяризацией электронных подписей для использования их в различных операциях. На новый уровень вышли программы проектирования, где без графических планшетов приходится весьма тяжело.

Сканер распознает изображение, автоматически создает его электронную копию, которая может быть сохранена в памяти компьютера.

Отличительные черты сканеров:

- глубина распознавания цвета: черно-белые, с градацией серого, цветные;
- оптическое разрешение или точность сканирования, измеряется в точках на дюйм (dpi) и определяет количество точек, которые сканер различает на каждом дюйме; стандартные разрешения – 200, 300, 600, 1200 точек на дюйм;
- программное обеспечение: обучаемые сканеры имеют образцы почерков для распознавания рукописного текста, интеллектуальные сами обучаются;
- конструкция: ручные, страничные (листовые) и планшетные.

Сканеры находят широкое применение в издательской деятельности, в системах проектирования, анимации. Сканеры незаменимы при создании иллюстративных материалов для презентаций, докладов, рекламы.

Цифровая фотокамера отличается от обычного фотоаппарата тем, что изображение не фиксируется на фотопленке химическим путем, а воспринимается матрицей ПЗС, после чего записывается в микросхемы памяти фотокамеры. Матрица ПЗС («Прибор с зарядовой связью») состоит из большого количества ячеек. Падающий на отдельный датчик ПЗС свет создает на нем электрический заряд, величина которого определяется интенсивностью падающего света. Изображение делится на множество ячеек, и каждая ячейка реального изображения соответствует ячейке ПЗС. Ячейки реагируют только на яркость, к цвету они безразличны, поэтому для получения цветного изображения перед матрицей ставят цветные фильтры. Каждый из пикселей регистрирует свет либо в красной, либо в зеленой, либо в синей части оптического спектра. Затем изображение обрабатывается в процессоре и на основе этих трех цветов восстанавливается вся картина.

Основной характеристикой цифровой фотокамеры является количество пикселей матрицы ПЗС. Для представленной фотокамеры это 2,1 млн пикселей. Глубина цветопередачи для серого изображения 8 бит, для цветного изображения от 10 бит и выше. Разрешение 1600×1200 (интерполированное 2048×1536).

Файлы изображения хранятся в сжатом виде в формате JPEG. Сжатие уменьшает размер файла от десятых долей процента до ста раз. Процесс сжатия приводит к потерям в качестве изображения. В дорогих профессиональных камерах для хранения изображения используют несжатый формат TIFF или несжатый и необработанный формат RAW.

Для записи и хранения изображений используются либо встроенная память, либо сменные носители информации (Compact Flash (Type I, Type II) card, Ultra Compact Flash card и др. с объемом памяти от 8 Мбайт и выше). Основные требования к таким носителям – малые размеры и низкое энергопотребление. Для данной фотокамеры на входящей в комплект карте SM 8 Мбайт можно хранить до 8 снимков размером 1600×1200 или до 22 снимков размером 640×480 . Изображение с фотокамеры поступает в компьютер, где происходит окончательная доводка картинки (ретушь, монтаж и т. д.), записывается во внешнюю память компьютера и распечатывается на принтере.

5.1.2. Устройства вывода графических изображений

Дисплей – основное устройство вывода графических изображений. Наиболее распространены дисплеи, основной частью которых является электронно-лучевая трубка. С фронтальной стороны внутренняя часть стекла электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) покрыта люминофором. Люминофор – это такое вещество, которое излучает свет при бомбардировке его заряженными частицами (электронами) и обладает способностью гаснуть не сразу. В качестве люминофоров для цветных ЭЛТ используются довольно сложные составы на основе редкоземельных металлов – иттрия, эрбия и т. п. Поток электронов, испускаемый электронной пушкой, на пути к фронтальной части трубки проходит через модулятор интенсивности и ускоряющую систему. В результате электроны приобретают большую энергию. Это и приводит к свечению люминофора, частично преобразующего, таким образом, энергию потока электронов. Светящиеся точки люминофора формируют изображение, которое вы видите на мониторе.

Люминофорный слой, покрывающий фронтальную часть электронно-лучевой трубки, состоит из очень маленьких элементов трех типов, цвета которых соответствуют основным цветам (красному, зеленому, синему). Соответственно необходимо обеспечить их независимое свечение, что и достигается наличием трех электронных пушек. Каждая из трех пушек соответствует одному из трех основных цветов и посылает пучок электронов на различные частицы люминофора. Понятно, что электронный луч, предназначенный для красных люминофорных элементов, не должен влиять на люминофор зеленого или синего цвета. Чтобы добиться такого эффекта, используется специальная маска (теневая маска или апертурная решетка). Теневая маска состоит из металлической сетки перед частью стеклянной

трубки с люминофорным слоем. В конце 1980-х гг. появились первые модели РС типа лэптоп. Такие РС имеют малый вес, в первую очередь за счет того, что в них применяются жидкокристаллические дисплеи. Подобный экран состоит из двух стеклянных пластин, между которыми находятся жидкие кристаллы, которые могут изменять свою оптическую структуру и свойства в зависимости от электрического заряда, т. е. кристаллы под воздействием электрического поля изменяют свою ориентацию и тем самым по-разному отражают свет. Поскольку сопротивление относительно велико, кристаллы могут двигаться только с определенной скоростью. Появление ЖК-мониторов – это большой шаг вперед от ЭЛТ-мониторов. Победены такие основные недостатки ЭЛТ, как мерцание изображения, плохая четкость картинки из-за недостаточной фокусировки луча и несведения, нет самого вредного – статического потенциала экрана. Для работающих только с текстом ЖК-монитор – наилучший монитор.

Основные характеристики дисплеев перечислены далее.

Размер диагонали экрана (измеряется в дюймах). Для работы в Windows используются мониторы с размером диагонали 15", 17". Для профессиональной работы с настольными издательскими системами и системами автоматизированного проектирования используются мониторы с диагональю 20", 21".

Размер зерна. У хороших мониторов размер зерна не более 0,28 мм. Разрешающая способность экрана (графическое разрешение) – одна из важнейших характеристик, определяющих качество изображения. Естественно при этом указывать не общее количество пикселей, а то, сколько их умещается в одной строке и сколько строк располагается на экране. Стандартный ряд графических разрешений включает следующие: 640 × 480, 800 × 600, 1024 × 768, 1200 × 1024, 1600 × 1200.

Частота обновления экрана (частота вертикальной (кадровой) развертки). У хороших мониторов кадровая частота поддерживается на уровне 70 – 80 Гц.

Видеокарта. Практически все современные видеокарты принадлежат к комбинированным устройствам и помимо своей главной функции – формирования сигналов, в соответствии с которыми монитор может отображать ту или иную информацию на экран, – осуществляют ускорение выполнения графических операций. Такие устройства называются видеоадаптерами (видеоконтроллерами). Видеоконтроллер состоит из двух частей: видеопамяти и дисплейного процессора. Видеопамять предназначена для хранения видеoinформации – двоичного кода изображения, выводимого на экран. Видеопамять – это электронное энергозависимое запоминающее устройство. В ней могут храниться одновременно несколько страниц высококачественного графического изображения. От объема видеопамяти зависит доступное графическое и цветовое разрешение. Дисплейный процессор читает содержимое видеопамяти и в соответствии с ним управляет работой дисплея. От свойств дисплейного процессора (видеопроцессора) зависит скорость, с которой выполняются операции с графическими объектами на экране, и загруженность основного процессора.

Принтеры в зависимости от порядка формирования изображения поразделяются на последовательные, строчные и страничные. Принадлежность принтера к той

или иной группе зависит от того, формирует ли он на бумаге символ за символом или сразу всю строку, а то и целую страницу. По физическому принципу действия принтеры делятся на матричные, струйные и лазерные. Матричный принтер имеет печатающую головку, представляющую собой матрицу из отдельных иголочек. Таким образом, на бумаге образуются символы, состоящие из точек-отпечатков, оставляемых ударами иголочек по красящей ленте. В зависимости от конструкции печатающая головка матричного принтера может иметь 9, 18 иголок или 24 иголки. Печатающие головки струйных принтеров вместо иголок содержат тоненькие трубочки – сопла, через которые на бумагу выбрасываются капельки чернил. Печатающая головка струйного принтера содержит от 12 до 64 сопел, диаметры которых тоньше человеческого волоса. Известно несколько принципов действия струйных печатающих головок. В одной из конструкций на входном конце каждого сопла расположен маленький резервуар с чернилами. Позади резервуара располагается нагреватель (тонкопленочный резистор). Когда резистор нагревается проходящим по нему током до температуры 500 градусов, окружающие его чернила вскипают, образуя пузырек пара. Этот расширяющийся пузырек выталкивает из сопла капли чернил диаметром 50...85 мкм со скоростью около 700 км/час. В другой конструкции печатающей головки источником давления служит мембрана, приводимая в движение пьезоэлектрическим способом. В матричных и струйных принтерах электромеханические устройства перемещают печатающую головку и бумагу так, чтобы печать происходила в нужном месте. В отличие от матричных в струйных принтерах пишущее устройство не находится в постоянном соприкосновении с твердой поверхностью, а потому изнашивается не скоро и работает практически бесшумно. Важнейшей особенностью струйной печати является возможность создания высококачественного цветного изображения. В лазерных принтерах используется электрографический принцип создания изображения. Процесс печати включает в себя создание невидимого рельефа электростатического потенциала в слое полупроводника с последующей его визуализацией. Визуализация осуществляется с помощью частиц сухого порошка – тонера, наносимого на бумагу. Тонер представляет собой частички железа, покрытые пластиком. Наиболее важными частями лазерного принтера являются полупроводниковый барабан, лазер и прецизионная оптико-механическая система, перемещающая луч. Лазер генерирует тонкий световой луч, который, отражаясь от вращающегося зеркала, формирует электронное изображение на светочувствительном полупроводниковом барабане.

Поверхности барабана предварительно сообщается некоторый статический заряд. Для получения изображения на барабане лазер должен включаться и выключаться, что обеспечивается схемой управления. Вращающееся зеркало служит для разворота луча лазера в строку, формируемую на поверхности барабана. Поворот барабана на новую строку осуществляет прецизионный шаговый двигатель. Это смещение определяет разрешающую способность принтера и может составлять, например, 1/300, 1/600 или 1/1200 часть дюйма. Процесс развертки изображения на барабане во многом напоминает построение изображения на экране монитора (создание раstra).

Когда луч лазера попадает на предварительно заряженный барабан, заряд «стекает» с освещенной поверхности. Таким образом, освещаемые и неосвещаемые лазером участки барабана имеют разный заряд. В результате сканирования всей поверхности полупроводникового барабана на нем создается скрытое (электронное, невидимое для человека) изображение.

На следующем этапе работы принтера происходит проявление изображения, т. е. превращение скрытого электронного изображения в видимое изображение. Заряженные частицы тонера притягиваются только к тем местам барабана, которые имеют противоположный заряд по отношению к заряду тонера. Когда видимое изображение на барабане построено и он покрыт тонером в соответствии с оригиналом, подаваемый лист бумаги заряжается таким образом, что тонер с барабана притягивается к бумаге. Прилипший порошок закрепляется на бумаге за счет нагрева частиц тонера до температуры плавления.

Кроме лазерных принтеров существуют светодиодные принтеры, которые получили свое название из-за того, что полупроводниковый лазер в них заменен линейкой светодиодов. В этом случае не требуется сложная механическая система вращения зеркала. Изображение одной строки на полупроводниковом барабане формируется одновременно.

5.2. Методы визуализации

5.2.1. История развития программных средств машинной графики

Машинная графика является чрезвычайно эффективным и мощным средством связи между человеком и ЭВМ, однако высокая стоимость вычислительных средств, необходимых для работы графических систем, часто становилась препятствием к их использованию. Появление дисплеев с запоминающей ЭЛТ и растровых дисплеев, улучшение характеристик векторных дисплеев и графопостроителей, а также снижение стоимости быстродействующих ЭВМ с большой оперативной памятью расширило пути применению средств машинной графики во многих областях человеческой деятельности. С середины 1970-х гг. значительно увеличивается выпуск графических устройств и создаются многочисленные системы машинной графики.

Однако большинство графических систем того времени было ориентировано на работу с определенным графическим устройством в среде конкретной операционной системы и ЭВМ. Более того, часто система предназначалась только для конкретного применения. Такое положение затрудняло распространение графических систем, тормозило освоение новых графических устройств, мешало взаимопониманию между пользователями и разработчиками средств машинной графики.

Возникла необходимость в изучении машинной графики как отдельного предмета и в разработке единой методологии создания программного обеспечения графических устройств.

Один из первых шагов в этом направлении был сделан на совещании рабочей группы IFIP по машинной графике, которое состоялось в Сейлаке (Франция) в 1976 г. В результате анализа существующих графических систем стало ясно, что

следует отделять собственно графические функции от тех функций, которые относятся к определенной области применения. Было установлено, что для эффективного использования средств машинной графики необходимо создать унифицированные графические базисные системы путем разработки соответствующего стандарта. Основные цели стандартизации: дать возможность разработчикам графического программного обеспечения создавать переносимые между различными вычислительными системами программы, использующие графические средства; облегчить программистам и пользователям изучение и освоение методов графического программирования; указать разработчикам графического оборудования направления развития функциональных возможностей устройств.

Рассмотрим концептуальную схему организации графической системы. Прикладная программа обращается к графическим устройствам через базовую графическую систему типа GKS, GKS-3D или PHIGS, освобождая тем самым программиста от учета особенностей конкретных устройств. На этом уровне располагается основная часть не зависящего от устройства графического программного обеспечения базовой системы, включая функции хранения элементов изображения и не зависящих от станции преобразований.

Функции базовых графических систем описываются в абстрактных терминах, не зависящих от языков программирования, и могут быть реализованы как программно, так и аппаратно. Для создания программной реализации стандартов и ее использования прикладными программами на различных языках разрабатываются специальные соглашения об описании имен функций, параметров, структур данных на конкретном языке программирования.

Взаимодействие прикладной программы с базовой графической системой осуществляется через функциональный интерфейс с языками программирования.

Уровни базовой графической системы и графической станции связывает функциональный интерфейс с графической станцией. Это абстрактный интерфейс, разработку которого ИСО не ведет. Однако существует стандарт Европейского комитета по стандартизации ECMA-96 (GDS), который определяет интерфейс этого уровня для GKS.

Уровень графической станции включает функции, специфичные для данной графической станции, но не зависящие от конкретных графических устройств. Примерами могут служить функции, реализующие преобразования станции или память сегментов станции.

Интерфейсом самого нижнего уровня является функциональный интерфейс с графическим устройством. Он определяет границу между графической станцией и устройствами ввода-вывода графической информации, которая может проходить на различных логических уровнях для разных устройств (в зависимости от «интеллектуальности» устройства).

Ниже этого интерфейса располагается уровень графического устройства. К нему относятся зависящие от устройств функции аппаратуры и компоненты метафайла.

Таким образом, стандарты и проекты стандартов GKS, GKS-3D и PHIGS находятся на уровне базовой графической системы. Привязки к языкам программирования обеспечивают интерфейс с прикладными программами. Проект CGM

определяет интерфейс с компонентами метафайла, расположенного на уровне функционального интерфейса с графическим устройством. Проект CGI реально представляет собой семейство интерфейсов, расположенных ниже уровня базовой графической системы, но выше уровня графического устройства.

Первым стандартом, который был разработан в Международной организации по стандартизации, является ИСО 7942 «Ядро графической системы». Стандарт ИСО 7942 в настоящее время приобрел широкую известность в мире. Разработано несколько десятков пакетов, реализующих стандарт GKS на различных языках программирования для различных вычислительных систем.

GKS определяет набор графических функций, которые можно применять при решении большинства прикладных задач, использующих графические средства.

Важнейшей задачей GKS является освобождение прикладного программиста от учета особенностей графических устройств при разработке прикладных программ. Это привело к одной из фундаментальных концепций GKS – концепции графической рабочей станции, являющейся абстракцией физического устройства.

Для удобства использования все возможности системы разбиты на 12 уровней в зависимости от сложности включаемых в них функций, начиная от минимального уровня – та и кончая максимальным – 2с. Так как в последнее время в качестве технического обеспечения для ГИС часто используются персональные компьютеры и станции, были сформированы требования к набору функций для этого уровня, который получил название минимального. Эти требования включены в состав СТ СЭВ 6177-88 и ГОСТ 27817-88.

В общей модели взаимосвязи стандартов по машинной графике важную роль играет понятие абстрактной графической станции ввода/вывода. Введение такого понятия позволяет в общей части графической системы не учитывать индивидуальные особенности графического оборудования. При этом, однако, функции абстрактной графической станции будут определять набор свойств, которым должно обладать графическое устройство.

Графическая система типа GKS состоит из независимой от устройств части и программ-драйверов для конкретных устройств. Если на графическом устройстве удастся реализовать все функции абстрактной графической станции, то необходимость создания программы-драйвера отпадает.

Необходимо различать два вида метафайлов: предназначенные для хранения статических изображений и предназначенные для ведения протоколов взаимодействий интерактивных графических систем. Первые метафайлы будем называть статическими, вторые – динамическими.

GKS-3D включает в себя набор функций для ввода, преобразования и вывода изображений трехмерных объектов с удалением невидимых линий и поверхностей. Функции GKS-3D составлены таким образом, чтобы обеспечить их полную совместимость с GKS. GKS-3D обладает рядом возможностей, которые отсутствуют в системе GKS. К ним, прежде всего, относятся:

- трехмерные примитивы вывода;
- примитив НАБОР ПОЛИГОНАЛЬНЫХ ОБЛАСТЕЙ;

- трехмерные преобразования видового конвейера с видовыми операциями;
- ввод изображений трехмерных объектов;
- удаление невидимых линий и поверхностей;
- атрибуты ребер;
- геометрические атрибуты в трех измерениях.

| Уровни вывода | Функции ЯГС для уровней ввода | | |
|---------------|---|--|---|
| | а | б | с |
| т | Отсутствие ввода, минимальные средства управления, индивидуально устанавливаемые атрибуты, одно преобразование нормирования, ограниченный набор функций вывода. | Ввод данных в режиме ЗАПРОС, ЛУВ, отсутствие устройства указания. | Все режимы ввода, отсутствие устройства указания. |
| 0 | Отсутствие ввода, базовые средства управления, предварительно определяемые связки, несколько преобразований нормирования, все функции вывода: метафайл. | Ввод данных в режиме ЗАПРОС, ЛУВ, отсутствие устройства указания, установка входного приоритета поля вывода. | Все режимы ввода, отсутствие устройства указания. |
| 1 | Полный вывод, включая связки, несколько станций, сегментация на станциях, станция метафайла. | Функции ЗАПРОСИТЬ УКАЗАНИЕ, индивидуализация и установка режима работы устройства указания. | Все режимы ввода, устройство указания. |
| 2 | То же + ОПС | То же | То же |

Рис. 23. Уровни ядра графической системы

Все геометрические операции в GKS-3D выполняются в трехмерном пространстве. Центральным для этой системы является понятие видового конвейера, который поддерживает только трехмерные конструкции и рассматривает двумерные операции как частный случай трехмерных. Все данные в GKS-3D являются трехмерными данными.

Двумерные функции в этой системе преобразуются таким образом, что:

- к двумерным координатам автоматически добавляется третья компонента;

- матрица преобразований 2×3 трансформируется в матрицу 3×4 добавлением соответствующих столбца и строки;
- при вводе к двумерным измерениям добавляется третья компонента.

GKS-3D поддерживает четыре типа преобразований: преобразование нормирования, преобразование сегмента и вставки, преобразование проецирования и преобразование станции. Из этих четырех типов преобразований только преобразование проецирования кардинально отличается от преобразований, принятых в GKS.

Преобразование проецирования состоит из двух этапов. На первом этапе графические объекты, определенные в нормированных координатах, преобразуются в некоторую трехмерную «опорную» систему координат, в которой удобно задавать центр проекции и направление проецирования, положение и ориентацию картинной плоскости и другие параметры, определяющие ракурс в соответствии с принятой моделью «синтетической фотокамеры». На втором этапе производится отображение (проецирование) «опорного» координатного пространства в трехмерные нормированные проекционные координаты, а также отсечение по трехмерному полю вывода, заданному в проекционных координатах.

Преобразование станции переводит нормированные проекционные координаты в трехмерные координаты устройства. Третьи координаты примитивов могут использоваться на аппаратном или программном уровне для моделирования эффекта глубины (например, для управления интенсивностью высвечивания примитивов в зависимости от расстояния до наблюдателя) либо могут просто игнорироваться.

PHIGS – иерархическая интерактивная графическая система, предназначена для работы с двумерными и трехмерными графическими данными, организованными по иерархическому принципу.

Геометрическая информация в этой системе представляется в виде структур данных. Структуры, в свою очередь, складываются из элементов, состоящих из примитивов вывода, атрибутов, спецификаций преобразований, ссылок на другие структуры и др. С помощью структур генерируется изображение и осуществляется работа с ним в интерактивном режиме. В системе PHIGS предусмотрены развитые средства динамического просмотра, редактирования и преобразования этих иерархических структур. Поэтому использование системы становится особенно эффективным при наличии аппаратного механизма поддержки структурированных дисплейных файлов, преобразований, атрибутов и т. д. Системой также поддерживается механизм хранения структур в архивных файлах.

PHIGS является вторым стандартом (после GKS и GKS-3D), выходящим на уровень интерфейса с пользователем. Основные отличия PHIGS и GKS заключаются в следующем.

GKS имеет только один уровень структурирования графических объектов. Сегменты GKS используются для описания изображения, а не самой графической модели. Информация, содержащаяся в сегментах, преобразуется в нормированные координаты и не хранится в том виде, в котором сегменты создаются. Структуры

PHIGS задаются в модельной (пользовательской) системе координат, связанной с мировой системой при помощи модельного преобразования, которое описывается матрицей размером 4×4 .

В GKS содержимое уже созданного сегмента впоследствии не может быть изменено. Однако некоторые атрибуты сегмента, воздействующие сразу на весь сегмент, такие как: видимость, выделение, чувствительность к указанию и преобразование сегмента, могут быть модифицированы. PHIGS в отличие от GKS позволяет в любой момент модифицировать любые части структуры.

GKS связывает атрибуты с примитивами в момент их создания перед помещением в сегмент. Для изменения атрибутов примитивов сегмент должен быть уничтожен и переформирован с новыми значениями атрибутов. В PHIGS примитивы вывода связываются со своими атрибутами только в момент вывода этих примитивов. Привязка атрибутов в момент вывода значительно облегчает и упрощает процесс модификации графических данных.

GKS поддерживает лишь одно модельное преобразование с очень ограниченными возможностями – преобразование нормирования, которое к заданному набору данных применяется лишь один раз. В PHIGS можно задать сразу несколько «накапливающихся» модельных преобразований, действующих в модельном (пользовательском) пространстве. По существу, GKS представляет собой систему, позволяющую манипулировать изображениями, в то время как PHIGS является системой, предназначенной для манипуляций моделями (объектами).

Во многих своих чертах, когда это не касается вопросов организации и манипулирования данными, системы PHIGS и GKS по существу идентичны.

Описание функций GKS и других графических стандартов производится не зависящим от языка программирования способом. Чтобы связать стандарт с языком программирования, к нему необходимо добавить языково-ориентированный слой графической системы, подчиняющийся вполне определенным соглашениям конкретного языка программирования. Описание того, как программы, написанные на конкретном языке, получают доступ к функциям графического стандарта, называют обычно привязкой стандарта к языку. Усилия, направленные на создание стандарта, включают привязку к нескольким языкам программирования.

Привязка графического стандарта к языку программирования точно определяет отображение абстрактных типов данных, используемых в описании стандарта, на реальные типы данных конкретного базового языка. Привязка определяет также представление абстрактных имен функций и списков параметров, применяемых в описании, средствами конкретного языка программирования с учетом всех налагаемых им ограничений. В ИСО разрабатываются привязки только с теми языками программирования, которые уже приняты в качестве стандартов ИСО. Это языки Фортран, Паскаль, Ада, Си.

База данных, цифровая карта и признаковые данные объединяются в геоинформационную систему. Человек общается с ГИС посредством обмена аудио-, видео-, векторной и растровой информацией. Такое объединение информации называется мультимедиа- и гипермедиа-системой.

При работе с различными системами очень важно определить основные термины и определения, которые используются в стандартах и реализациях стандартов. Для этого были разработаны соответствующие ГОСТы и СТ СЭВ.

Стандарты по машинной графике послужили основой для создания базового обеспечения. По этим стандартам были разработаны реализации, т. е. программы, реализующие эти стандарты. Существенное влияние стандартизация оказала на разработку графических редакторов, таких как CAREL DRAW, PAINT и др.

5.2.2. Модели цвета

Абсолютное большинство создаваемых цифровых карт цветные. Цвет является мощным изобразительным средством и играет важную роль.

Все многообразие содержания карты можно расчленить на группы по характеру элементов этого содержания, которым часто присваивают определенные цвета. Так, вошло в традицию все объекты гидрографии изображать голубым или синим цветом, рельефа – коричневым, растительного покрова – зеленым и т. д. В данном случае применение разных цветов дает возможность улучшить различимость между собой определенных групп условных знаков в соответствии с легендой. Это облегчает восприятие (изучение) элементов содержания в целом и их взаимосвязей.

Таким образом, применение различных цветов увеличивает различимость объектов на карте и облегчает ее восприятие. Функции цвета на карте будут выполнены лишь при соблюдении ряда правил и рекомендаций, вытекающих из курса оформления карт и науки о цвете – цветоведении. Цветоведение изучает физическую теорию цвета, теорию цветового зрения, вопросы, связанные с восприятием цветов, вопросы классификации и измерения цветов и др. Выводы цветоведения широко используются как в картографии, так и в других областях.

Модели цвета определяют систему координат цвета и подпространство, внутри которого каждый описываемый цвет представляется точкой.

Цвета описываются моделью цвета вместе со спецификацией координат цвета в цветовом пространстве этой модели. В каждой станции действует модель цвета, указываемая записью «текущая модель цвета» в таблице состояния станции.

В машинной графике используются несколько моделей представления цвета: RGB, CIELUV, HLS, HSV.

RGB-модель – способ задания характеристик цвета указанием доли содержащихся в нем основных цветов. При этом в качестве основных цветов используются красный, зеленый, синий.

Модель RGB представляется в виде цветного куба, у которого в качестве осей первичные цвета: красный, зеленый и голубой. Каждая точка внутри куба имеет значение интенсивности красного (координата x), значение интенсивности зеленого (координата y) и значение интенсивности голубого (координата z). Каждая ось или интенсивность имеет диапазон значений от 0 до 1 и каждая точка определяет единственный цвет.

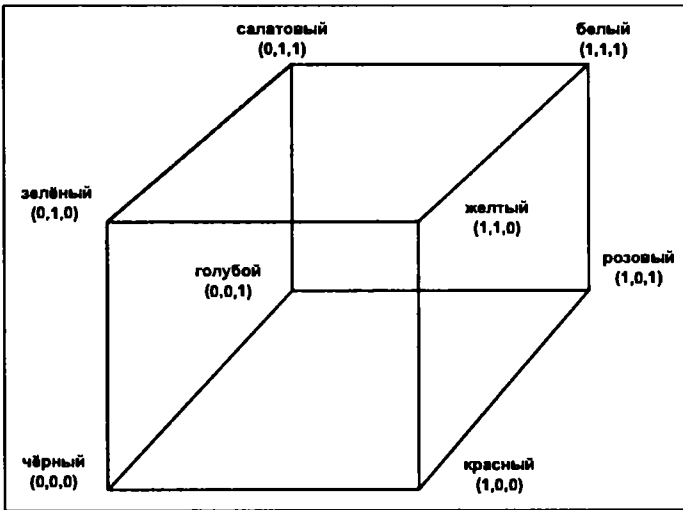


Рис. 24. Модель цвета RGB

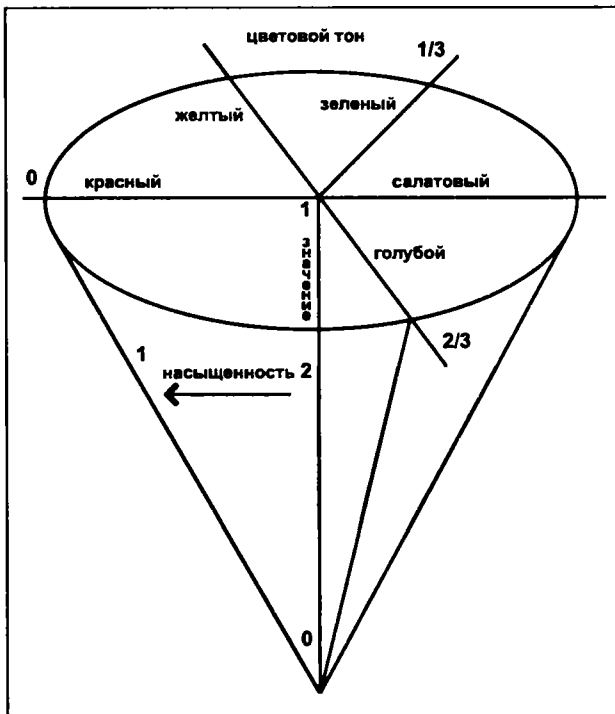


Рис. 25. Модель цвета HSV

Модель цвета HSV (цвет, насыщенность, значение) представляется в виде конуса, в котором:

- угол вокруг оси конуса, в долях круга, является цветовым тоном;
- радиус является насыщенностью;
- высота является интенсивностью (или яркостью на единицу площади).

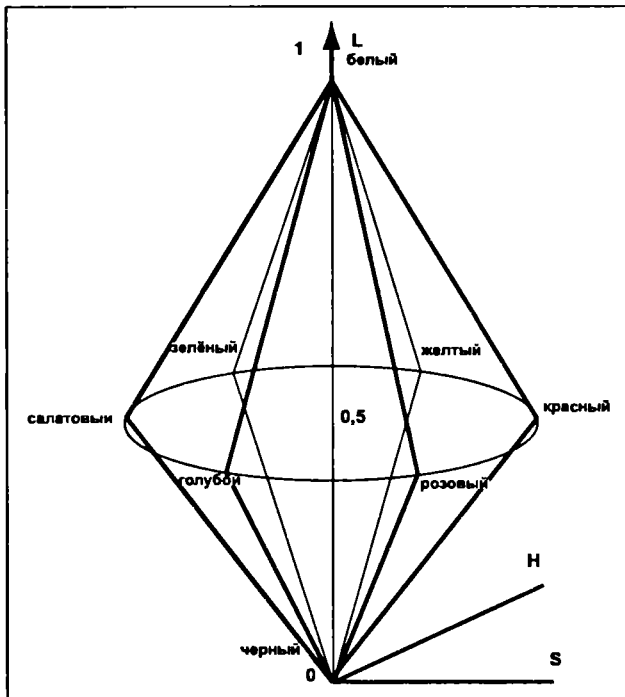


Рис. 26. Модель цвета HLS

Угол, радиус и высота лежат в диапазоне от 0 до 1, каждая точка внутри конуса определяет единственный цвет со значением цветового тона (угол), насыщенности (радиус) и интенсивности (высота).

Модель цвета HLS (цвет, яркость, насыщенность) представляется в виде конуса с двумя концами, в котором:

- угол вокруг оси конуса, в долях круга, является цветовым тоном;
- радиус является насыщенностью;
- высота является яркостью (интенсивностью или яркостью на единицу площади).

Угол, радиус и высота лежат в диапазоне от 0 до 1, каждая точка внутри конуса определяет единственный цвет со значением цветового тона (угол), насыщенности (радиус) и яркости (высота).

Рассмотрим процесс создания смешанного цвета. Представление цвета производится в форме кода. Каждый код цвета запоминается в таблице цвета вместе со ссылкой на соответствующую модель цвета CIE(X, Y, Z) или RGB. Если код цвета представляет составной цвет, который складывается из двух или нескольких других кодов цвета, тогда выражение, определяющее смесь, дается в файле поддержки.

Приведем пример составного цвета.

$$P_1 * (CC_1) + P_2 * (CC_2) + \dots + P_n * (CC_n),$$

где P – пропорция; CC – код цвета (помечается как CC_i).

Значение i изменяется от 1 до n. Сумма всех пропорций должна быть равна 1.

Пример.

Если цвет с кодом 5(CC5) составлен из 0.25 частей CC3 и 0.75 частей CC6, тогда для CC5 будет:

$$0.25 * (3) + 0.75 * (6) \text{ или } 0.75 * (6) + 0.25*(3).$$

Использование уравнения позволяет легко модифицировать цвета для изображения на экране дисплея. Например, если непосредственно использовались для изображения цвета 3 и 6, тогда изменения для относительного цвета 5 могут быть прямо подсчитаны как:

$$R5 = 0.25 * R3 + 0.75 * R6;$$

$$G5 = 0.25 * G3 + 0.75 * G6;$$

$$B5 = 0.25 * B3 + 0.75 * B6.$$

Проанализируем способы формирования цвета для топографической карты масштаба 1 : 1 000 000, произведенной в интегрированной оболочке Windows, разработанной фирмой Microsoft, в графическом редакторе Paint.

В Paint предусмотрена возможность синтеза (создания) оригинальных цветов, не имеющих в графическом меню. В графическом меню выбора основного и фоновых цветов представлены цвета, создаваемые Paintbrush по умолчанию. Каждый цвет является определенным сочетанием трех цветов: красного, зеленого и голубого.

Табл. 4. Соотношение основных цветов для составления синтезированного цвета карты

| № цвета | Цвет | R | G | B |
|---------|----------------------------|-----|-----|-----|
| 1 | Черный | 0 | 0 | 0 |
| 2 | Темно-оливковый | 64 | 128 | 94 |
| 3 | Синий | 0 | 0 | 255 |
| 4 | Бирюзовый | 0 | 255 | 255 |
| 5 | Коричневый | 192 | 64 | 0 |
| 6 | Оранжевый | 255 | 64 | 0 |
| 7 | Фиолетовый | 255 | | 155 |
| 8 | Фиолетовый (расслабленный) | 255 | 128 | 207 |
| 9 | Зеленый | 0 | 255 | 64 |
| 10 | Зеленый (расслабленный) | 128 | 255 | 64 |
| 11 | Серо-коричневый 1-й | 191 | 191 | 138 |
| 12 | Серо-коричневый 2-й | 128 | 77 | 77 |
| 13 | Оранжевый 1-й | 252 | 198 | 111 |
| 14 | Оранжевый 2-й | 255 | 192 | 64 |
| 15 | Оранжевый 3-й | 255 | 162 | 36 |
| 16 | Оранжевый 4-й | 255 | 128 | 0 |

Для построения цветовой гаммы применяется 255-уровневая трехцветная шкала. В такой шкале белый цвет состоит из 255 частей красного, 255 частей зеленого и 255 частей голубого цветов, а черный из 0 частей красного, 0 частей зеленого и 0 частей голубого цветов. Изменяя соотношение трех основных цветов, можно синтезировать практически любой цвет.

Для цифровой карты масштаба 1 : 1 000 000 были разработаны цвета максимально близкие к принятым цветам топографической карты масштаба 1 : 1 000 000, в соответствии с «Руководством по картографическим и картоиздательским работам. Часть 3». Однако это является субъективной оценкой цвета составителем, так как восприятие цветов зависит от индивидуальных особенностей человека (нужно учитывать особенности нашего зрения: остроту, способность к различению отдельных цветов, особенности восприятия при различных условиях освещения и т. д.), а также аппаратной настройки монитора.

5.2.3. Графические форматы

Для того чтобы вести речь об изображениях, необходимо определить, что под ними понимается. Далее будут рассмотрены статические растровые изображения, представляющие собой двумерный массив чисел – пикселей. Все изображения можно подразделить на две группы: с палитрой и без нее. У изображений с палитрой в пикселе хранится число – индекс в некотором одномерном векторе цветов, называемом палитрой.

Для того чтобы корректнее оценивать степень сжатия, нужно ввести понятие класса изображений. Под классом будет пониматься некая совокупность изображений, применение к которым алгоритма архивации дает качественно одинаковые результаты. Например, для одного класса алгоритм дает очень высокую степень сжатия, для другого – почти не сжимает, для третьего – увеличивает файл в размере (известно, что многие алгоритмы в худшем случае увеличивают файл).

Рассмотрим следующие примеры неформального определения классов изображений.

- Изображения с небольшим количеством цветов (4–16) и большими областями, заполненными одним цветом. Примеры: деловая графика – гистограммы, диаграммы, графики и т. п.
- Изображения с использованием плавных переходов, построенные на компьютере. Примеры: графика презентаций, эскизные модели в САПР, изображения, построенные по методу закрашки Гуро.
- Фотореалистичные изображения. Пример: отсканированные фотографии.
- Фотореалистичные изображения с наложением деловой графики.

В качестве отдельных классов могут быть предложены некачественно отсканированные в 256 градаций серого цвета страницы журналов или растровые изображения топографических карт. Формально являясь 8- или 24-битными, они несут даже не растровую, а векторную информацию. Отдельные классы могут образовывать и совсем специфичные изображения: рентгеновские снимки или фотографии в профиль и фас из электронного досье.

Первыми для архивации изображений стали применяться привычные алгоритмы. Те, что использовались и используются в системах резервного копирования, при создании дистрибутивов и т. п. Однако со временем старые алгоритмы перестали удовлетворять требованиям, предъявляемым к архивации. Многие изображения практически не сжимались, хотя «на взгляд» обладали явной избыточностью. Это привело к созданию нового типа алгоритмов – сжимающих с потерей информации. Как правило, в них можно задавать коэффициент архивации и, следовательно, степень потерь качества. При этом достигается компромисс между размером и качеством изображений.

Одна из серьезных проблем машинной графики заключается в том, что до сих пор не найден адекватный критерий оценки потерь качества изображения. А теряется оно постоянно – при оцифровке, при переводе в ограниченную палитру цветов, при переводе в другую систему цветопредставления для печати и, что особенно важно, при архивации с потерями. Можно привести пример простого критерия: среднеквадратичное отклонение значений пикселей, согласно которому изображение будет сильно испорчено при понижении яркости всего на 5 % (глаз этого не заметит – у разных мониторов настройка яркости варьируется гораздо сильнее). В то же время изображения со «снегом» – резким изменением цвета отдельных точек, слабыми полосами или «муаром» будут признаны «почти не изменившимися». Свои неприятные стороны есть и у других критериев. Таким образом, необходим критерий, учитывающий всевозможные пространственные регулярные эффекты, который, оказывается, не так просто построить.

Лучше всего потери качества изображений оценивают наши глаза. Отличной считается архивация, при которой невозможно на глаз различить первоначальное и закодированное изображения. Хорошей – когда сказать, какое из изображений подвергалось архивации, можно, только сравнивая две находящиеся рядом картинки. При дальнейшем увеличении степени сжатия, как правило, становятся заметны побочные эффекты, характерные для данного алгоритма. На практике даже при отличном сохранении качества, в изображение могут быть внесены специфические регулярные изменения. Поэтому алгоритмы архивации с потерями не рекомендуется использовать при сжатии изображений, которые в дальнейшем собираются либо печатать с высоким качеством, либо обрабатывать программами распознавания образов.

Далее необходимо отметить, что один и тот же алгоритм часто можно реализовать разными способами. Многие известные алгоритмы, такие как RLE, LZW или JPEG, имеют десятки различающихся реализаций. Кроме того, у алгоритмов бывает несколько явных параметров, варьируя которые можно изменять характеристики процессов архивации и разархивации. При конкретной реализации эти параметры фиксируются исходя из наиболее вероятных характеристик входных изображений, требований на экономию памяти, требований на время архивации и т. д. Поэтому у алгоритмов одного семейства лучший и худший коэффициенты могут отличаться, но качественно картина не изменится.

Групповое кодирование – Run Length Encoding (RLE) – один из самых ранних и самых простых методов архивации графики. Изображение в нем (как и в нескольких методах, описанных далее) вытягивается в цепочку байт по строкам раstra. Само сжа-

тие в методе RLE происходит за счет того, что в исходном изображении встречаются цепочки одинаковых байт. Замена их на пары «счетчик, значение» в большинстве случаев уменьшает объем данных. Коэффициенты сжатия варьируются от 1/64 до 2/1.

Данный метод применяется в форматах PCX, TIFF, BMP.

Ориентирован метод на изображения с небольшим количеством цветов – деловую и научную графику. Симметричность примерно равна единице.

К положительным сторонам метода RLE можно отнести только то, что он не требует дополнительной памяти при архивации и разархивации, а также быстро работает. Интересная особенность метода группового кодирования состоит в том, что степень архивации для некоторых изображений может быть существенно повышена всего лишь за счет изменения порядка цветов в палитре изображения.

Методы сжатия семейства LZW (Lempel-Ziv-Welch) сжимают данные путем поиска одинаковых последовательностей (цепочек) во всем файле. Выявленные цепочки сохраняются в таблице, и им присваиваются более короткие маркеры (ключи). Так, если в изображении имеются наборы из нескольких пикселей, повторяющиеся 50 раз, метод сжатия LZW выявляет это, присваивает данному набору отдельное число и затем сохраняет эти данные 50 раз в виде этого числа. Метод LZW, так же как и метод RLE, лучше действует на участках однородных, свободных от шума цветов изображения. При этом он действует гораздо лучше, чем метод RLE, при сжатии произвольных графических данных, но процесс кодирования и распаковки происходит медленнее.

Существует довольно большое семейство LZW-подобных методов, различающихся алгоритмом поиска повторяющихся цепочек. Коэффициенты сжатия данного метода: 1/1000, 1/4, 7/5. Коэффициент 1/1000 достигается только на одноцветных изображениях размером больше 4 Мб. Ориентировано LZW-семейство методов сжатия на 8-битные изображения.

Характерной особенностью данного метода является его высокая степень симметричности при сжатии и восстановлении изображений. Ситуация, когда изображение увеличивается в объеме, встречается крайне редко. Метод LZW универсален – именно его варианты используются в обычных архиваторах.

Метод LZW реализован в форматах GIF, TIFF и TGA.

Данный метод был разработан в 1952 г. и используется как составная часть и других схем сжатия, таких как LZW, Дефляция, JPEG.

Метод сжатия Хаффмана – статистический метод сжатия, который уменьшает среднюю длину кодового слова для символов алфавита. Код Хаффмана может быть построен по следующему алгоритму.

1. Выписываются в ряд все символы алфавита в порядке возрастания или убывания вероятности их появления в тексте.
2. Последовательно объединяются два символа, с наименьшими вероятностями появления, в новый составной символ, вероятность появления которого получается равной сумме вероятностей составляющих его символов; в конце концов, строится дерево, каждый узел которого имеет суммарную вероятность всех узлов, находящихся ниже него.

3. Прослеживается путь к каждому листу дерева, помечая направление к каждому узлу (например, направо – 1, налево – 0).

Метод Хаффмана используется в большинстве архиваторов.

Родственным методом для кодирования Хаффмана является кодирование Шеннона–Фано, которое осуществляется следующим образом.

1. Все множество символов делится на два подмножества так, чтобы сумма вероятностей появления символов одного подмножества была примерно равна сумме вероятностей появления символов другого. Для левого подмножества каждому символу приписывается «0», для правого – «1».
2. Повторяется шаг (1) до тех пор, пока все подмножества не будут состоять из одного элемента.

Методы Хаффмана и Шеннона–Фано берут только частоту появления одинаковых байт в изображении и сопоставляют символы входного потока, которые встречаются большее число раз, с цепочкой бит меньшей длины. И напротив – встречающиеся редко – с цепочкой большей длины. Для сбора статистики требуется два прохода по изображению. Коэффициенты сжатия методов Хаффмана и Шеннона–Фано следующие: лучший – 8, средний – 1.5, худший – 1.

Данные методы практически не применяются к изображениям в чистом виде. Обычно они используются как один из этапов компрессии в более сложных схемах.

В описанных выше методах в файл производится запись таблицы соответствия кодируемых символов и кодирующих цепочек. На практике же обычно используются их разновидности. Так, в некоторых случаях резонно либо использовать постоянную таблицу, либо строить ее адаптивно, т. е. в процессе архивации/разархивации. Эти приемы избавляют от двух проходов по изображению и необходимости хранения таблицы вместе с файлом. Кодирование с фиксированной таблицей применяется в качестве последнего этапа архивации в рассматриваемом ниже методе JPEG.

Существует модификация описанных методов, которая используется при сжатии черно-белых изображений. Последовательности подряд идущих черных или белых точек заменяются числом, равным их количеству с признаком цвета. А этот ряд уже, в свою очередь, сжимается по Хаффману с фиксированной таблицей. Подробное описание использования этих двух методов для сжатия изображений можно найти в описании графического формата TIFF.

Работа метода арифметического кодирования состоит в представлении числа интервалом вещественных чисел от 0 до 1. По мере увеличения длины сообщения, интервал, необходимый для его представления, становится все меньше и меньше, а число бит, необходимых для задания этого интервала, увеличивается. Каждый символ сообщения сокращает этот интервал пропорционально вероятности появления данного символа. Наиболее вероятный символ меньше всего сокращает интервал и, таким образом, добавляет меньше бит к коду сообщения.

При использовании данного метода сжатия необходима также модель данных, которую можно затем использовать вместе с кодером. Простейшей моделью, например, является фиксированная таблица вероятностей стандартных букв английского текста, которую можно использовать для получения вероятностей букв.

Улучшением этого метода является использование адаптивной модели сжатия, при которой производится преобразование фиксированной модели данных в адаптивную путем изменения вероятности символов после кодирования каждого нового символа.

Кроме того, существуют методы, использующие вероятности сочетаний символов. Лучшие на данный момент компрессоры, использующие этот подход: DMC (Dynamic Markov Coding) – начинает работу с Марковской модели 0-порядка и постепенно расширяет начальную модель в процессе сжатия; PPM (Prediction by Partial Matching) – ищет появления сжимаемого текста в контексте n -го порядка. Оба метода, таким образом, получают более эффективную модель сжимаемых данных и в сочетании с арифметическим кодированием приводят к лучшей степени сжатия.

Однако стоит отметить, что перечисленные методы относительно новы и не успели войти в повсеместное использование. Кроме того, у них есть один существенный недостаток: они требуют гораздо больше вычислительных ресурсов процессора и объемов памяти. Построение сложных моделей для сжатия может не закончиться из-за нехватки памяти (особенно в случае метода DMC, когда модель может неограниченно расти).

Рекурсивное сжатие – вид архивации, который исходит из идеи использования когерентности областей. Ориентирован алгоритм на цветные и полутоновые изображения с плавными переходами. Алгоритм очень эффективен для картинок типа рентгеновских снимков. Коэффициент сжатия задается и варьируется в пределах 2-20 раз. При попытке задать больший коэффициент на резких границах, особенно проходящих по диагонали, проявляется «лестничный эффект» – ступеньки разной яркости размером в несколько пикселей. В каком-то смысле рекурсивное сжатие является частным случаем JPEG.

JPEG (Joint Photographic Experts Group) – один из самых новых и достаточно мощных алгоритмов. Практически он становится стандартом де-факто для полноцветных изображений.

Кодирование данных происходит в несколько этапов. Сначала графические данные конвертируются в цветовое пространство типа LAB, затем отбрасывается половина или три четверти информации о цвете (в зависимости от реализации алгоритма). Затем анализируются блоки 8×8 пикселей, на которых яркость и цвет меняются сравнительно плавно. Вследствие этого при разложении матрицы такой области в двойной ряд по косинусам значимыми оказываются только первые коэффициенты. На последнем этапе используется кодирование методом Хаффмана для более эффективного сжатия данных. Восстановление данных происходит в обратном порядке.

Таким образом, сжатие в JPEG осуществляется за счет малой величины значений амплитуд высоких частот в реальных изображениях. Коэффициент архивации в JPEG может изменяться в пределах от 2 до 200 раз. Как и у любого другого алгоритма сжатия с потерями, у JPEG – свои особенности. Наиболее известны «эффект Гиббса» и дробление изображения на квадраты 8×8 . Первый проявляется около

резких границ предметов, образуя своеобразный «ореол». Он хорошо заметен, если, допустим, поверх фотографии сделать надпись цветом, сильно отличающимся от фона. Разбиение на квадраты происходит, когда задается слишком большой коэффициент архивации для данной конкретной картинки.

Не очень приятным свойством JPEG является также то, что нередко горизонтальные и вертикальные полосы на дисплее абсолютно не видны и могут проявиться только при печати в виде муарового узора. Он возникает при наложении наклонного растра печати на полосы изображения. Из-за этих сюрпризов JPEG не рекомендуется активно использовать в полиграфии, задавая высокие коэффициенты. Однако при архивации изображений, предназначенных для просмотра человеком, он на данный момент незаменим.

Широкое применение JPEG сдерживается, пожалуй, лишь тем, что он оперирует 24-битными изображениями. Поэтому для того, чтобы с приемлемым качеством посмотреть картинку на обычном мониторе в 256-цветной палитре, требуется применение соответствующих алгоритмов и, следовательно, определенное время. В приложениях, ориентированных на придиричьего пользователя, таких, например, как игры, подобные задержки неприемлемы. Кроме того, если имеющиеся у вас изображения, допустим, в 8-битном формате GIF перевести в 24-битный JPEG, а потом обратно в GIF для просмотра, то потеря качества произойдет дважды при обоих преобразованиях. Тем не менее выигрыш в размерах архивов зачастую настолько велик (в 3–20 раз!), а потери качества настолько малы, что хранение изображений в JPEG оказывается очень эффективным. JPEG реализован в форматах JPG и TIFF.

Несколько слов необходимо сказать о модификациях этого алгоритма. Хотя JPEG и является стандартом ISO, формат его файлов не был зафиксирован. Пользуясь этим, производители используют свои, несовместимые между собой форматы и, следовательно, могут изменить алгоритм. Так, внутренние таблицы алгоритма, рекомендованные ISO, заменяются ими на свои собственные. Кроме того, легкая неразбериха присутствует при задании степени потерь. Например, при тестировании выясняется, что «отличное» качество – «100 %» и «0 баллов» дают существенно различающиеся картинки. При этом, кстати, «100 %» качества не означает сжатия без потерь.

Существуют подформаты JPEG. Baseline optimized – файлы несколько лучше сжимаются, но не читаются целым рядом программ. JPEG Baseline Optimized разработан специально для Интернета: все основные браузеры его поддерживают. Progressive JPEG также разработан для Всемирной сети. Его файлы меньше стандартных, но чуть больше Baseline Optimized. Главная особенность Progressive JPEG в поддержке аналога чересстрочного вывода.

Из сказанного можно сделать следующие выводы: в JPEG лучше сжимаются растровые картинки фотографического качества, чем логотипы или схемы – в них больше полутоновых переходов; среди однотонных заливок могут появиться нежелательные помехи; лучше и с меньшими потерями сжимаются большие изображения для web или изображения с высоким печатным разрешением (от 200–300 и более dpi), чем с низким (72–150 dpi), так как в каждом квадрате 8×8 пикселей

переходы получаются более мягкие за счет того, что этих квадратов в таких файлах больше. Нежелательно сохранять с JPEG-сжатием изображения, где важны нюансы цветопередачи, так как во время сжатия происходит отбрасывание цветовой информации. В JPEG следует сохранять только конечный вариант работы, потому что каждое последующее сохранение приводит к дополнительным потерям данных и ухудшению исходного изображения.

Фрактальное сжатие – эта группа алгоритмов, по-видимому, является самой перспективной и развивается сейчас наиболее бурно. Первые практические результаты были получены в 1992 г. – и произвели ошеломляющее впечатление. Коэффициент сжатия у фрактальных алгоритмов варьируется в пределах 2–2000. Причем большие коэффициенты достигаются на реальных изображениях, что, вообще говоря, нетипично для предшествующих алгоритмов. Кроме того, при разархивации изображение можно масштабировать. Уникальная особенность этого алгоритма заключается в том, что увеличенное изображение не дробится на квадраты. Во фрактальном сжатии используется принципиально новая идея – не близость цветов в локальной области, а подобие разных по размеру областей изображения. Это, безусловно, наиболее прогрессивный подход на сегодняшний день. Алгоритм ориентирован на полноцветные изображения и изображения в градациях серого цвета.

Его особенностью является потребность в колоссальных вычислительных мощностях при архивации. При этом распаковка требует меньше вычислений, чем у JPEG. Фактически это первый существенно несимметричный алгоритм, упоминаемый в этой статье. Причем если у предыдущих алгоритмов коэффициент симметричности (отношение времени архивации ко времени разархивации) не превышал 3, то у фрактального алгоритма он колеблется в пределах 1000–10 000. Как следствие – основные работы сейчас ведутся по распараллеливанию и ускорению его работы. Фрактальное сжатие реализовано в формате FIF.

Все графические компьютерные данные можно разделить на две большие ветви: растровую и векторную. Векторы представляют собой математическое описание объектов относительно точки начала координат. Проще говоря, чтобы нарисовать прямую, нужны координаты двух точек, которые связываются по кратчайшей, для дуги задается радиус и т. д. Таким образом, векторная иллюстрация – это набор геометрических примитивов. Большинство векторных форматов могут также содержать внедренные в файл растровые объекты или ссылку на растровый файл (технология OPI). Сложность при передаче данных из одного векторного формата в другой заключается в использовании программами различных алгоритмов, разной математики при построении векторных и описании растровых объектов.

Растровый файл устроен проще (для понимания, по крайней мере). Он представляет собой прямоугольную матрицу (bitmap), разделенную на маленькие квадраты – пикселы (pixel – picture element). Растровые файлы можно разделить на два типа: предназначенные для вывода на экран и для печати.

Разрешение файлов таких форматов, как GIF, JPEG, BMP, зависит от видеосистемы компьютера. У первых Macintosh-ей на квадратный дюйм экрана приходилось

72 пиксела (экранное разрешение), в Windows единого стандарта не сложилось, но сегодня чаще всего употребляется значение 96 пикселей на квадратный дюйм экрана. Реально, однако, эти параметры теперь стали довольно условными, так как почти все видеосистемы современных компьютеров позволяют изменять количество изображаемых на экране пикселей. Растровые форматы, предназначенные исключительно для вывода на экран, имеют только экранное разрешение, т. е. один пиксел в файле соответствует одному экранному пикселу. На печать они выводятся также с экранным расширением.

Растровые файлы, предназначенные для допечатной подготовки изданий, имеют, подобно большинству векторных форматов, параметр Print Size – печатный размер. С ним связано понятие печатного разрешения, которое представляет собой соотношение количества пикселей на один квадратный дюйм страницы (ppi – pixels per inch или dpi – dots per inch – термин не совсем верный, но часто употребляемый). Печатное разрешение может быть от 130 dpi (для газеты) до 300 или 600 (высококачественная печать).

Растровые форматы также отличаются друг от друга способностью нести дополнительную информацию: различные цветовые модели, векторы, альфа-каналы или каналы плашковых (spot) цветов, слои различных типов, интерлиньяж (чересстрочная подгрузка), анимация, возможности сжатия и т. д.

Независящий от аппаратного обеспечения формат GIF был разработан в 1987 г. (GIF87a) фирмой CompuServe для передачи растровых изображений по сетям. В 1989-м формат был модифицирован (GIF89a), были добавлены поддержка прозрачности и анимации. GIF использует LZW-компрессию, что позволяет неплохо сжимать файлы, в которых много однородных заливок (логотипы, надписи, схемы).

GIF позволяет записывать изображение «через строчку» (Interlaced), благодаря чему, имея только часть файла, можно увидеть изображение целиком, но с меньшим разрешением. Это достигается за счет записи, а затем подгрузки, сначала 1, 5, 10 и т. д. строчек пикселей и растягивания данных между ними, вторым проходом следуют 2, 6, 11 строчек, разрешение изображения в интернетовском браузере увеличивается. Таким образом, задолго до окончания загрузки файла пользователь может понять, что внутри, и решить, стоит ли ждать, когда файл поднимется весь. Чересстрочная запись незначительно увеличивает размер файла, но это, как правило, оправдывается приобретенным свойством.

В GIF можно назначить один или более цветов прозрачными, они станут невидимыми в интернетовских браузерах и некоторых других программах. Прозрачность обеспечивается за счет дополнительного альфа-канала, сохраняемого вместе с файлом. Кроме того, файл GIF может содержать не одну, а несколько растровых картинок, которые браузеры могут подгружать одну за другой с указанной в файле частотой. Так достигается иллюзия движения (GIF-анимация).

Основное ограничение формата GIF состоит в том, что до недавнего времени цветное изображение могло быть записано только в режиме 256 цветов, что часто бывает явно недостаточно.

PNG (Portable Network Graphics) – еще один формат Всемирной сети, разработанный относительно недавно и призванный заменить собой устаревший GIF. Он использует сжатие без потерь Deflate, сходное с LZW (именно из-за патентования в 1995 г. алгоритма LZW возник PNG). Сжатые индексированные файлы PNG, как правило, меньше аналогичных GIF, а RGB PNG – меньше соответствующего файла в формате TIFF.

Глубина цвета в файлах PNG может быть любой, вплоть до 48 бит. Кроме того, используется двумерный interlacing (причем не только строк, но и столбцов), который, так же как и в GIF, слегка увеличивает размер файла. В отличие от GIF, где прозрачность либо есть, либо нет, PNG поддерживает также полупрозрачные пиксели (т. е., в диапазоне прозрачности от 0 до 99 %) за счет альфа-канала с 256 градациями серого цвета.

В файл формата PNG записывается информация и о гамма-коррекции. Гамма представляет собой некоторое число, характеризующее яркость свечения монитора от напряжения на электродах кинескопа. Это число, считанное из файла, позволяет ввести поправку яркости при отображении. Нужно оно для того, чтобы картинка, созданная на Mac выглядела одинаково и на PC, и на Silicon Graphics. Таким образом, эта особенность помогает реализации основной идеи WWW – одинакового отображения информации независимо от аппаратуры пользователя.

PNG поддерживается в Microsoft Internet Explorer, начиная с 4-й версии для Windows и с версии 4.5 на Macintosh. Netscape добавила поддержку PNG для своего браузера в версиях, начиная с 4.0.4 для обеих платформ. Тем не менее до сих пор не реализована поддержка таких важных функций формата, как плавно переходящая прозрачность и гамма-коррекция.

Аппаратно независимый формат TIFF (Tagged Image File Format) на сегодняшний день является одним из самых распространенных и надежных, его поддерживают практически все программы на PC и Macintosh, так или иначе связанные с графикой. TIFF является лучшим выбором при импорте растровой графики в векторные программы и издательские системы. Ему доступен весь диапазон цветовых моделей от монохромной до RGB, CMYK и дополнительных цветов Pantone. TIFF может сохранять различные контуры, альфа-каналы и другие дополнительные данные.

TIFF имеет две разновидности: для Macintosh и PC. Это связано с тем, что процессоры Motorola читают и записывают числа слева направо, а процессоры Intel – наоборот. Но современные программы могут без проблем использовать оба эти формата.

В формате TIFF может быть использована LZW-компрессия. Ряд старых программ (например, QuarkXPress 3.x, Adobe Streamline, различные программы-распознаватели текста) не умеют читать сжатые файлы TIFF, однако при использовании более новых программ нет причин не использовать сжатие.

Внутренний формат популярного растрового редактора Photoshop в последнее время стал поддерживаться все большим количеством программ. Он позволяет записывать изображения со многими слоями, их масками, дополнительными

альфа-каналами и каналами простых (spot) цветов (начиная с пятой версии), контурами и другой информацией. В версии 3.0 появляются слои, контуры и RLE-компрессия, в четвертой версии улучшается алгоритм и файлы становятся еще меньше. Начиная с пятой версии, реализован принципиально другой подход к управлению цветом, основанный на профилях для сканеров, мониторов и принтеров Международного консорциума по цвету (International Color Consortium, ICC).

Несмотря на то что в пятой версии появились новые эффекты со слоями, текстом, а также возможность создавать дополнительные каналы для простых цветов и профили, формат Photoshop имеет полную совместимость от пятой версии до третьей. В более ранних версиях Photoshop не было ни слоев, ни контуров.

Некоторые программы понимают однослойный Photoshop Document, а совсем редкие – могут импортировать и многослойные. Правда, не все это делают 100-процентно корректно.

CorelDRAW – формат, известный в прошлом низкой устойчивостью, плохой совместимостью файлов и искажением цветовых характеристик внедряемых цветовых карт. Тем не менее использование CorelDRAW чрезвычайно удобно, что вызвало неоспоримое лидерство данного продукта на платформе PC. Многие программы на PC (и среди них FreeHand, Illustrator, PageMaker) могут импортировать файлы CorelDRAW.

Начиная с седьмой версии, многие основные проблемы были решены, а версии CorelDRAW от восьмой и выше можно без натяжек назвать профессиональными. В файлах этих версий применяется компрессия для векторов и растра отдельно, могут внедряться шрифты, файлы CorelDRAW имеют огромное рабочее поле 45×45 метров (этот параметр важен, например, для наружной рекламы); начиная с четвертой версии, поддерживается многостраничность, начиная с седьмой – технология OPI.

Выше сказанное означает, что файлы формата CorelDRAW можно применять для переноса/передачи работ на PC, но нежелательно в программах верстки.

BMP (Windows Device Independent Bitmap) – это еще один родной формат Windows. Он поддерживается всеми графическими редакторами, работающими под управлением операционной системы. Применяется он для хранения растровых изображений, предназначенных для использования в Windows, и, по сути, больше ни на что не пригоден. Способен хранить как индексированный (до 256 цветов), так и RGB-цвет (16 700 000 оттенков). Возможно применение сжатия по принципу RLE, но делать это не рекомендуется, так как тогда он станет «непонятен» для большинства программ. Существует разновидность формата BMP для операционной системы OS/2.

5.3. Особенности создания компьютерных карт и атласов

При создании, обновлении и хранении цифровых топографических карт, как правило, должна применяться векторная форма представления цифровой топографической карты.

Положение усугубляется необходимостью решения вопроса в двух аспектах – для целей собственно картографии (с использованием в АСК), с одной стороны, и для ГИС – с другой.

В первом случае традиционность представления объектов картографирования не только оправдана, но и необходима, так как конечной продукцией должен быть «издательский» оригинал карты в цифровом или графическом виде.

Для целей ГИС становится возможным значительно сократить перечни объектов цифрования, отказаться от жесткой регламентации по количеству и содержанию сегментов. Требуется переосмысление и упорядочение системы определения и описания точечных, линейных и площадных объектов, с максимальным исключением их представления в условных внемасштабных знаках. Поясним изложенное примерами.

Для ГИС нет, например, острой необходимости в детализации по условным знакам или в классификации метрики растительности или болот непроходимых, труднопроходимых и проходимых. Достаточно зафиксировать сведения о положении границ этих объектов, а их характеристики представить атрибутивно или вообще в специальной (тематической, кадастровой) базе данных. Или, в частности, для ГИС не только теряет смысл, но и становится помехой представление в ЦММ лесополосы точечными объектами – кружками. По существу лесополоса – линейно-площадной объект с конкретными значениями ширины и протяженности. Особенно это приходится учитывать при автоматизированном решении на базе ГИС различных планировочных или проектировочных задач, когда предполагается пересечение другими планируемыми (проектируемыми) линейными объектами (ЛЭП, дорогами, каналами и др.). Таким образом, ЦТИ должна отражать только самую необходимую (каркасную) информацию. Остальная – при необходимости может быть «загружена» в банк данных послойно целевым назначением по заказу потребителя.

При создании банка ЦТИ для целей автоматизированного многоцелевого городского кадастра каждый потребитель (департаменты и комитеты мэрии или службы – теплосетей, электросетей, телефонной, почтовой связи, водопроводной и канализационной коммуникаций, пожарной охраны, здравоохранения и др.) заинтересован иметь базу данных о детальной застройке. Но требования потребителей к точности планового положения зданий и сооружений могут значительно отличаться. Вместе с тем, сейчас каждая служба, как правило, заказывает ЦТК самостоятельно и финансирует работу из своего бюджета, стремясь сократить расходы. В результате аспектные базы данных по застройке иногда отличаются в службах существенно не только качеством информации, но и структурой, описанием объектов, поскольку и исполнители обычно бывают разные. Это часто делает аспектные ЦТК несовместимыми, что может резко снизить многоцелевые возможности городской ГИС. Чтобы исправить такое положение, требуются значительные дополнительные затраты средств и времени. Данный пример показывает, насколько важно и необходимо создание цифровых комплексных данных начинать с обобщения запросов заказчика ГИС, ее потребителей, выработки на основе этого (с учетом экономической целесообразности) и согласования единых требований к ЦТК. Причем весьма желательно, чтобы исполнитель был один или же общее формирование банка ЦТИ

производилось, по крайней мере, основным (генеральным) подрядчиком. Это относится к ГИС любого уровня.

Электронно-цифровой атлас независимо от его назначения должен иметь единую концептуальную и методологическую основу гиповой технологии и инструментальной ГИС-оболочки.

Электронно-цифровой атлас как новый вид картографической продукции предоставляет качественно новые возможности по концентрации, интегрированию, анализу и использованию информации из разных предметных областей.

Основным теоретическим аспектом создания атласа является принцип: атлас – это не набор иллюстративных материалов, представленных в различном виде (картографическом, в виде графика, диаграммы, таблицы, текста), а совокупность связанных баз данных, сформированных на единой концептуальной и методологической основе, и инструментальные средства ГИС, позволяющие, во-первых, продуцировать произвольное множество выходных иллюстративных и отчетных материалов различного вида и содержания, соответствующих требованиям конкретного потребителя и заказчика, во-вторых, решать задачи пользователя с применением ГИС-технологий. К таковым задачам, прежде всего, необходимо отнести задачи, требующие учета взаимного пространственного расположения объектов и применения пространственного анализа совместно с логической фильтрацией объектов по заданному условию.

Контрольные вопросы

1. Перечислите устройства ввода графических данных и дайте их сравнительный анализ.
2. Проведите классификацию графических устройств вывода.
3. Что такое модель цвета и какие модели цвета применяются в ГИС?
4. Что такое формат графических данных?
5. Дайте сравнительную характеристику растровых форматов.
6. Какие векторные форматы используются в ПО ГИС?

ГЛАВА 6

Применение геоинформационных систем

6.1. Обзор программных средств

Программное обеспечение ГИС можно разбить на следующие категории.

1. Инструментальные ГИС – системы с наиболее широкими возможностями, включающие ввод, хранение, сложные запросы, пространственный анализ, вывод твердых копий.
2. ГИС-вьюеры предназначены для просмотра введенной ранее и структурированной информации.
3. Векторизаторы растровых картографических изображений предназначены для реализации процедур ввода пространственной информации со сканера, включают полуавтоматические средства преобразования растровых изображений в векторную информацию.
4. Специализированные средства пространственного моделирования включают системы, оперирующие с пространственной трехмерной информацией.
5. Средства обработки и дешифрирования данных дистанционного зондирования предназначены для обработки цифровых изображений земной поверхности, полученных методами аэрофото- и космической съемки.

Инструментальные ГИС подразделяются на универсальные и специализированные, полнофункциональные и с ограниченным набором функций.

К универсальным полнофункциональным ГИС относят наиболее крупные инструментально-программные комплексы, которые включают специальные графические станции, мощные устройства ввода и вывода, большой набор программных модулей для различных приложений. К таким ГИС традиционно относятся InterGraph, ArcInfo, Microstation, «ПАНОРАМА».

Следующей группой ГИС являются универсальные ГИС с ограниченным набором функций. Эти ГИС обычно работают на персональных компьютерах фирмы IBM, состоят из графического редактора, базы данных, средств для программирования приложений. К таким ГИС относятся: MapInfo, Wingis, GeoDraw, «Нева». Если сравнивать первые два пакета, то первый больше ориентирован на мелкомасштабные карты (он имеет большое количество географических проекций), а второй – на крупномасштабные карты (имеет средства точного позиционирования).

Специализированные ГИС ориентируются на создание только одной группы карт. Так, специализированной кадастровой ГИС является система CADdy. ГИС «ПАНОРАМА» специализируется на работе с топографическими картами среднего масштаба.

В Российской Федерации для создания электронных карт и геоинформационных систем используются следующие инструментально-программные комплексы: «ПАНОРАМА», разработанная в системе Министерства обороны РФ, «Нева», разработанная в Институте проблем управления РАН, GeoDraw, разработанная в Институте географии РАН, INTEGRAPH, ARCINFO, MAPINFO, AUTOCAD, MICROSTATION и др.

Остановимся на кратком описании некоторых из них («ПАНОРАМА», INTEGRAPH, ARCINFO, MAPINFO, AUTOCAD).

Система «ПАНОРАМА» предназначена для решения на базе IBM-совместимых ПК следующих задач:

- создание, отображение и редактирование ЭК по исходным картографическим материалам;
- сшивка различных (до 255) номенклатурных листов, содержащих до 255 слоев, до 65 535 видов объектов и до 65 535 видов характеристик объектов;
- представление картографической информации при помощи библиотеки условных картографических знаков;
- нанесение оперативной обстановки пользователем на карту, ее сохранение, отображение и редактирование;
- выполнение расчетных операций.

Геоинформационная система «ПАНОРАМА» обеспечивает высокую наглядность отображения разнородной информации, удобство и мощь инструментария для анализа реальности. При этом невысокие требования к техническим средствам, простота в обращении и максимальная открытость системы позволит специалистам различных областей использовать ГИС «ПАНОРАМА» на любых направлениях своей профессиональной деятельности.

Основой ГИС «ПАНОРАМА» является специализированная система управления базами данных электронных карт, которая позволяет создавать на основе практически любых исходных материалов векторные электронные карты, растровые электронные карты, растровые фоновые карты (до 16 млн цветов), матричные электронные карты (матрицы еисот рельефа, матрицы высот объемов местности, матрицы свойств участков местности). Одним из преимуществ системы является возможность разработки дополнительных прикладных задач в 32- разрядных операционных системах.

Электронная карта, построенная в ГИС «ПАНОРАМА» может содержать несколько тысяч листов электронных карт. Размер отдельного листа – площадь показываемой территории, может соответствовать или стандартному листу карты (например, 1 : 200 000, 1 : 5000 и др.), или определяться пользователем в каждом отдельном случае. Все объекты на листе имеют свою локализацию (линейный, площадной, подпись и др.), также все они разделяются по слоям: «ГИДРОГРАФИЯ», «ДОРОЖНЫЕ СООРУЖЕНИЯ», «РЕЛЬЕФ» и т. д. Допустимо 256 видов

слоев, а с учетом локализации объектов их может быть более 1000. В системе «ПАНОРАМА» быстро и весьма гибко происходит управление составом отображения по слоям, локализации или отдельным характеристикам объектов карты. Объем растровой или матричной карты может достигать 4 Гбайт, а объем векторной электронной карты – до нескольких терабайт (Тбайт). Система «ПАНОРАМА» позволяет хранить пользовательские данные – метеоданные, сведения о перемещении транспортных средств, данные об условиях радиовидимости и т. д., отдельно от карт местности, используя подмножество векторных карт. Такой подход имеет следующие преимущества:

- совместно с одной картой местности может отображаться любое количество различных пользовательских карт со своими классификаторами;
- пользовательская карта может отображаться совместно с растровыми и матричными картами;
- одна и та же пользовательская карта может одновременно отображаться на разных картах местности и редактироваться разными пользователями;
- пользовательская карта может иметь свой классификатор, который не зависит от классификатора карты.

Графическое представление объекта может храниться в записи объекта, что облегчает конвертирование данных из форматов DXF, MIF/MID и т. п. Атрибутивные данные могут храниться во внешней реляционной базе данных. Связь с базой данных выполняется по уникальному номеру объекта на карте. Благодаря продуманному подходу к структуре данных система имеет возможность быстрого и гибкого поиска объектов на карте – по номеру, по типу, названию, а также сочетанию в определенном отношении любых характеристик объектов. Базовым обменным форматом является формат SXF в двоичном и текстовом видах. Поддерживаются форматы, принятые в Роскартографии, ТС ВС РФ, а также DXF и MIF/MID.

Визуализация содержимого базы данных электронных карт производится в условных знаках, принятых для топографических, обзорно-географических, кадастровых и других видов карт. Широкие полномочия предоставляются для создания (добавления) пользовательских условных знаков, характеризующих местность или объекты карты в зависимости от определенной специфики владельца информации или факторов внешнего воздействия. При этом система поддерживает без каких-либо дополнительных затрат по времени различные системы координат и исходные проекции. Редактирование информации электронной карты выполняется с помощью сервисных функций системы. Создание, перемещение, удаление, копирование, изменение объектов электронной карты – это далеко не полный перечень возможностей системы. Все эти и другие функции можно выполнить, используя графический интерфейс пользователя.

Для работы с векторной картой в системе «ПАНОРАМА» предусмотрен целый набор сервисных функций. Создание и редактирование объектов электронной карты, выполнение расчетных операций (определение площадей, длин, направлений высот, сечение местности, построение зон вокруг объектов, построение

пересечений отображения результатов обработки на электронной карте – вот далеко не полный перечень этих возможностей. Совместная обработка векторных, растровых и матричных данных, а также их произвольное смещение друг относительно друга позволяют не только создавать электронную карту, но и вносить оперативные изменения в зависимости от происходящих событий на местности. Существует возможность вывода изображения электронной карты в разнообразных комбинациях на внешние устройства печати.

Программа реализована в виде набора динамических библиотек (DLL) с документированным интерфейсом («MAP API»), что позволяет использовать отдельные библиотеки в среде C++, Delphi, Visual Basic, Visual Foxpro и др. Для разработки приложений в среде Delphi/C++ Builder разработаны специальные компоненты (Gis Tool Kit).

Объекты векторной и электронной карты могут быть логически связаны с внешней реляционной базой. Поддерживаются различные форматы баз данных средствами BDE, ODBC. Записи БД связываются с объектами через уникальный 4-байтовый идентификатор в пределах листа электронной карты. Идентификатор не изменяется в процессе обработки объекта и не может быть присвоен другому объекту, даже после удаления объекта.

Одни и те же данные доступны для обработки по сети любому числу пользователей. При редактировании карты одним из пользователей данные автоматически обновляются у всех пользователей, работающих с данной картой, в том числе и на экране.

Выполнение программы может быть прервано в любой момент без потери целостности данных. Объект, который редактировался в момент возникновения сбоя или отказа, останется в том состоянии, в котором он был до начала редактирования. Объекты, которые редактировались или создавались перед возникновением сбоя программных или технических средств, будут успешно сохранены на магнитном носителе. В ходе редактирования объектов карты в резервных файлах сохраняются все их промежуточные состояния. Любое ошибочное действие оператора по редактированию, созданию или удалению объектов может быть отменено в том же сеансе работы программы или в любом следующем, но до выполнения процедуры сортировки и сжатия данных векторной карты. При загрузке данных из сбойного файла в обменном формате SXF будут корректно обработаны данные, расположенные до и после сбойного участка. При возникновении сбоя на магнитном носителе, содержащем данные во внутреннем формате системы, данные могут быть перенесены на другой участок носителя путем выполнения процедуры сортировки и сжатия данных или выгрузкой в формат обмена данными и повторной загрузкой на другой носитель.

Программа выполняется в среде Windows 95 и Windows NT. Ядро системы и средства разработки приложений перенесены на различные аппаратно-программные платформы (LINUX, QNX, Sparc, Mips).

Фирма Intergraph (США) разрабатывает графические рабочие станции, применяемые в самых различных областях приложений, в том числе и в картографии.

Рабочие станции подобного типа могут объединяться в системы с помощью сетей, использующих серверы, и протоколы Ethernet.

Программное обеспечение для станций фирмы Intergraph включает общесистемное, базирующееся на версиях операционной системы UNIX, а также обширный набор прикладных пакетов программ по различным областям применения.

Наибольший интерес для создания ГИС представляет набор пакетов на базе пакета «Модульная среда для географических информационных систем» (MGE).

Этот пакет представляет средство создания, запросов, анализа и отображения топологически-структурированных географических данных; средство для создания и анализа простых сетей; аппроксимации, построения оптимального пути; средство для интеграции данных, включая векторные и растровые; средство для ввода данных полевых наблюдений; средство для эффективного и простого составления тематических карт; цифровое моделирование местности для создания ЦММ; средство для фотограмметрической обработки изображений.

Для хранения и обмена геоинформацией фирма Intergraph использует разработанный ею формат SIF. Стандарт SIF (так же как и DXF) поддерживает как двумерное, так и трехмерное представление картографической информации, производит круговую и эллиптическую интерполяцию линий, учитывает разделение картографической информации по слоям, обеспечивает представление сложных составных объектов.

Таким образом, система MGE позволяет создавать рабочие места для решения всего спектра задач, связанных с составлением и обновлением карт по аэрокосмическим изображениям.

Система MapInfo является универсальной картографической системой, т. е. не требует никаких дополнительных технических средств, кроме стандартного компьютера фирмы ИБМ. Реляционная база данных текстовой информации совместима с базами данных SQL, DBASE, Exel, Lotus. Графическая база данных допускает обмен информацией через формат DXF.

Система поддерживает концепцию слоев. С каждым слоем в MAPINFO связана табличка в реляционной базе данных. Система имеет механизм перевода данных в различные системы координат, позволяет вычислять расстояния, площади, строить графики, гистограммы, производить выборку данных по комплексному запросу.

Система ARC/INFO используется во многих областях геоинформатики, в том числе: управление землями и строительство, районирование, планирование водных бассейнов и водоснабжения, топография, изучение почвенных карт, управление налогообложением территорий, лесное хозяйство, анализ преступности по районам, демографический анализ территорий.

ARC/INFO – система, позволяющая работать с любыми видами информации, имеющей пространственный аспект, т. е. «привязку» к территории. С помощью ARC/INFO можно легко получить в цифровой форме карту, схему, видеоизображение или рисунок, ввести табличные, статистические и другие тематические данные. ARC/INFO позволяет работать с серией карт, накладывать одну карту на другую и проводить их сопряженный анализ, создавать «твердые» копии необходимых карт, схем и других графических материалов.

ARC/INFO манипулирует географической информацией, производит ее обработку и графическое представление на ПК. Она состоит из систем по загрузке данных, вычерчиванию, редактированию, хранению данных с учетом их наложения в базе данных, преобразования данных, передачи их по сетям.

Организации, использующие ARC/INFO, могут интегрировать специальные данные в среде базы данных: кадастровое картирование, планирование использования земель, инвентаризацию национальных ресурсов, управление, анализ проницаемости, демографию и ценовую информацию.

ARC/INFO имеется на широком диапазоне устройств, что позволяет максимально гибко создавать конфигурации системы.

Средство ОВЕРЛЕЙ системы ARC/INFO предоставляет возможность анализировать и манипулировать географической информацией, включающей пересечение полигонов, линий и точек в пересекающихся полигонах и другую топологическую информацию. Полигон средства ОВЕРЛЕЙ вычисляется путем слияния полигонов из двух различных числовых слоев и составляет новый числовой слой.

Средство ОВЕРЛЕЙ предоставляет возможность объединения и пересечения полигонов, а также выполняет операцию наложения с любым набором слоев числовых полигонов. Информация об атрибутах полигонов тоже соединяется, что приводит к образованию новой записи в базе данных. Эта новая информация предоставляет возможность моделировать и анализировать данные в широких диапазонах необходимых применений.

Средство ОВЕРЛЕЙ имеет блок для подсчета и вычерчивания дорог различной ширины.

Возможна перекодировка внутреннего формата в формат фирмы AUTOCAD DXF. Возможна также привязка к формату базы данных dBASE в формате DBF.

Система замкнутая; совместное функционирование с другими системами не предусмотрено; однако возможен обмен информацией с другими системами, причем используемый формат хранения данных в системе ARC/INFO часто рассматривается другими системами как удобный стандарт.

Один из подходов к построению геоинформационных систем состоит в использовании возможностей, предоставляемых готовыми программными средствами, предназначенными для автоматизации чертежных работ и проектирования. Наиболее распространенным в мире пакетом для этих целей является пакет AUTOCAD фирмы AUTODESK. Целый ряд таких систем на базе AUTOCAD разработан как у нас в стране, так и за рубежом.

При использовании такого подхода учитывается, что система AUTOCAD представляет собой, по сути дела, удобную среду (оболочку), включающую: обширный набор графических примитивов, в том числе пригодных для задач картографии, включая широкий набор шрифтов для нанесения надписей на карты, условных знаков, видов штриховки областей на карте, причем имеется возможность формирования пользователем собственных шрифтов, видов штриховки и т. п.; очень мощный векторный графический редактор с иерархией строящихся объектов; диалоговую оболочку на базе падающих меню, пиктограммных меню и работы с мышью; мощ-

ную графическую базу данных чертежа, снабженную средствами работы с дополнительными числовыми и текстовыми атрибутами; универсальные средства обмена графическими файлами как внутри системы, так и с другими системами (для обмена графической информацией фирма Autodesk использует файлы формата DXF); мощные, настраиваемые на различные устройства (как принтеры, так и графопостроители) средства получения твердой копии чертежа (карты); включение структурирования графической информации по слоям в базе данных и графическом редакторе; встроенный язык программирования (AUTOLISP), позволяющий наращивать (специализировать) систему под решаемую графическую задачу.

Перечисленные средства дают возможность разработчику геоинформационной системы сосредоточиться на своих специфических картографических задачах и упростить решение общесистемных вопросов.

Вместе с тем рассмотренный подход имеет и определенные недостатки. Поскольку система AUTOCAD и ей подобные предназначены, прежде всего, для вычерчивания чертежей (машиностроительных или аналогичного типа), то они включают многие элементы, излишние для картографии, например примитивы, рассчитанные на чертежи (окружности, дуги, эллипсы) и многочисленные действия с ними, нанесение размеров на чертежи деталей согласно стандартам и сложные программы образмеривания, выполнение сопряжений элементов, составленных из дуг, и построение фасок, многие трехмерные построения и др. Куски программ, реализующие эти элементы, невозможно вычлнить из чертежной системы без ее переделки разработчиком, а поэтому они присутствуют в системе, отнимая ресурсы памяти, время реакции.

MicroStation/J – был разработан специально для профессиональных инженеров, работающих над проектами самого различного содержания и назначения: от механических конструкций до архитектуры и ГИС.

Microstation/J поддерживает коллективную работу над проектом через локальные сети и Интернет на всех этапах цикла разработки, от создания общей схемы проекта до оформления технической документации на готовое изделие либо план, включает средства для высокопроизводительной 2D- и 3D- графики, моделирования физических свойств механических узлов, фотореалистичного рендеринга и анимации. Пакет включает Java Virtual Machine, что позволяет использовать дополнительные возможности программирования на Java для создания таких компонентов, как ProjectBank, Engineering Component Modeling, project servers and transaction management.

Дополнениями к MicroStation являются следующие пакеты.

Bentley GeoPak Civil Engineering Suite for Microstation – полный пакет CAD, утилит для проектирования транспортных магистралей включающий:

GEOPAK Survey Manager,

GEOPAK Road for 2D/3D design,

GEOPAK Site for visual site modeling,

GEOPAK Bridge for 3D geometric modeling,

GEOPAK Drainage for interactive design.

MicroStation GeoDynSeg – пакет визуализации и анализа геодезических данных, планирования улиц, шоссе, трубопроводов, коммуникаций.

MicroStation TriForma – дополнение к MicroStation для архитекторов и дизайнеров для 3D- моделирования жилых и производственных зданий, сооружений.

MicroStation GeoCoordinator – пакет для обмена 2D-, 3D-, гео- и картографическими данными между MicroStation и другими пакетами ГИС и САД.

Microstation PowerArchitect – программа для архитектурного моделирования и 3D-дизайна. Для работы требуется САД-пакет от Microstation.

Projectbank – Client и Server для доступа к проектам MicroStation и совместной работы над проектами в локальной сети.

Microstation Powerscope – простой пакет для создания и доступа к СУБД для получения информации по проектам MicroStation.

Для создания топографических карт используется система CADdy. В базовый пакет системы входит графический редактор, функции создания библиотек условных знаков и шрифтов, СУБД, работающая в формате DBF. CADdy имеет средства прямого преобразования геодезических измерений, в том числе с использованием электронных геодезических приборов. База данных поддерживает импорт из форматов DXF, IGES, SICAD и др.

Пакет GeoDraw центра геоинформационных технологий Института географии РАН создан для цифрования и редактирования карт и планов. Пакет имеет около 40 распространенных в РФ картографических проецирований и позволяет цифрование карт по подложке (растрового изображения, сосканированного с карты при помощи сканера), ввод картографических объектов, редактирование введенного изображения, создание реляционных баз данных тематической информации. Пакет осуществляет экспорт и импорт цифровых карт в форматы ARC/INFO, MAPINFO, AutoCAD и др.

При цифровании полуавтоматическим способом номенклатурные листы (трапеции) разделяются по слоям (классам информации). Картографическая информация о слое копируется на пленку. Производится разметка картографических объектов. Каждому объекту ставится в соответствие семантическая информация. Далее метрическая информация вводится в ЭВМ при помощи устройства ввода графической информации, а семантическая информация вводится с алфавитно-цифрового дисплея с контролем при помощи двойного ввода. Контроль метрической информации производится методом совмещения контрольной копии цифровой информации, выполненной на графопостроителе, с оригиналом.

Эту технологию используют как зарубежные фирмы – AUTODESK, ESRI, INTERGRAPH, так и отечественные – «Росгеоинформ», ПКО «Картография», ВЦ Института географии РАН. Разница заключается в классификации информации и форме хранения семантической и метрической информации.

Фирма ESRI при кодировании использует цепочно-узловой метод. Для учета пространственно-логических отношений (ПЛО) и проведения расчетов используется дополнительный слой – ОВЕРЛЕЙ.

Фирмы AUTODESK и INTERGRAPH не учитывают ПЛО и не используют цепочно-узловой метод. Для хранения метрической информации фирма AUTODESK использует формат DXF, а INTERGRAPH – SIF. Форматы DXF и SIF поддерживают как двумерное, так и трехмерное представление картографической информации, производят круговую и эллиптическую интерполяцию линий.

По этой технологии расчлененный оригинал карты считывается при помощи сканера. Далее производится распознавание считанных объектов и их векторизация – частично автоматически, частично в интерактивном режиме. На одно быстродействующее рабочее место со сканером приходится около 15 рабочих мест по редактированию информации.

При цифровании карт по сканерной технологии, так же как и при полуавтоматическом цифровании, отсутствует единый формат представления цифровых карт.

Для цифрования аэрофотоснимков используются стереофотограмметрические системы. Фотограмметрические системы делятся на автоматические, в которых измерения производятся без участия оператора, полуавтоматические, в которых оператор делает приближенные наведения измерительной марки, а точное измерение производится автоматически, и неавтоматические, в которых измерения производятся оператором.

6.2. Инструментально-программные средства, используемые при крупномасштабном картографировании

Начиная с 90-х годов двадцатого века, непрерывно происходят изменения в состоянии технических и программных средств, используемых для выполнения полевых геодезических работ, создания и обновления картографической информации. Эти изменения связаны с развитием IT-технологий, требований автоматизации всех видов геодезических работ и внедрением в производство последних достижений в области науки и техники.

В настоящее время на рынке геодезического оборудования существуют интегрированные геодезические приборы нового поколения, позволяющие оперативно решать задачи геодезии и картографии в автоматизированном режиме с абсолютно новым принципом сбора пространственной информации о местности. Такие измерительные приборы снабжены встроенными вычислительными средствами и запоминающими устройствами, создающими возможность регистрации и хранения результатов измерений для дальнейшего их использования в технологическом процессе.

При камеральной обработке результатов полевых работ и дальнейшего использования данной информации для составления или обновления на персональном компьютере необходимо высокопроизводительное и многофункциональное программное обеспечение, выполняющее перевод растровой информации в цифровой вид и формирование собственно цифровой карты, а также работы с векторной информацией. При топографическом картографировании на компьютере могут

использоваться цифровые фотограмметрические станции (ЦФС), геоинформационные системы (ГИС) и издательские пакеты.

Особое место в этих процессах занимают ГИС-технологии, используемые совместно со спутниковыми навигационными системами позиционирования (ГНСС). В дальнейшем изложении системы ГНСС, используемые совместно с ГИС при картографировании территорий будем сокращенно называть как интегрированные спутниковые системы картографирования (ИССК).

На данный момент современный рынок представлен большим выбором ГИС и спутниковых навигационных приемников (СНП). Поэтому при их выборе, в первую очередь, нужно определить, для каких целей необходимо данное оборудование, тип выполняемых задач, требуемую точность позиционирования, изученность района, где будут производиться работы и т. д. Только после этого можно приступить к выбору инструментальных и программных средств, так как цены на спутниковые приемники колеблются в больших пределах и не стоит переплачивать за недоработанные, ненужные опции и возможности. Далее будут рассмотрены и проанализированы экономически выгодные ИССК, позволяющие решать большой спектр задач, наиболее известных фирм производителей и их технические характеристики.

Интегрированная картографо-геодезическая система ProMark3

Новейшая интегрированная система представляет собой одночастотный спутниковый приемник, позволяющий проводить съемку с геодезической функцией при дифференциальной коррекции постобработки с миллиметровой точностью и с субметровой точностью, с функцией картографирования в режиме реального времени и постобработки.

В целях уменьшения влияния фактора «многолучевости распространения сигнала» на точность определения координат компания Magellan разработала и внедрила новую технологию Prism, обеспечивающую проведение точных измерений в режимах статистики, stop&go и кинематики даже в плохих условиях приема сигнала, например, в условиях плотной застройки, что немаловажно для городского кадастра.

Одной из важных особенностей интегрированной системы от Magellan является возможность использования двух программных обеспечений для работы с данными – GNSS Solutions и MobileMapper Office. Данные съемок могут быть представлены в графической и табличной форме, что позволяет легко выполнить постобработку. Импорт растровых или векторных форматов карт позволяет создавать проекты фоновых карт и комбинировать их с проектами наземных полевых съемок для ГИС-изысканий. Точность в плане и по высоте при выполнении статических измерений равна, соответственно, 5 мм + 0,5 мм/км и 5 мм + 1,0 мм/км.

Программа для ГИС/картографирования MobileMapper Office разработана для создания фоновых карт, отображения и редактирования ГИС данных, импортирования и экспортирования файлов формата *.SHP, *.MIF и *.DXF, а также экспорта в формате *.CSV. Измерения, выполняемые в картографическом режиме, накладываются на векторную или растровую карту по правилу созданного или загруженного классификатора и вместе с ней отображаются на дисплее приемника

в поле, а затем в программах обработки. Геодезическое программное обеспечение позволяет выполнять калибровку системы координат и пересчет координат между различными системами, содержит Интернет-приложение для загрузки данных с базовых станций международной сети IGS.

Таким образом, программное обеспечение интегрированных систем позволяет обрабатывать полевые данные и продолжать работу с информацией в таких средах, как Autocad, Mapinfo, ArcView, Панорама, Нева, широко распространенных в сфере ГИС технологий.

Таким образом, подобное оборудование позволяет осуществлять обновление электронных карт, топографическую съемку, оперативное картографирование и ГИС анализ.

Наличие встроенной памяти в 85 Мбайт позволяет регистрировать данные полевых измерений, выполненных в течение 72 ч с интервалом записи 1 с от 8 спутников.

Интегрированная геодезическая система Trimble R3

Новая GPS-система Trimble R3 является одночастотным решением от компании Trimble. Она сочетает в себе: одночастотный GPS-приемник, антенну, надежный переносной контроллер и простое полевое и офисное программное обеспечение. Система R3 обеспечивает выполнение съемочных работ, сгущение сетей и привязку районов работ с субсантиметровой точностью. Система работает при любой погоде и в любое время суток. В новой системе впервые объединен одночастотный GPS-приемник R3 геодезического класса с защищенным контроллером Trimble Recon в едином корпусе, специально предназначенном для работы в сложных полевых условиях. Точность в плане и по высоте при выполнении статических измерений равна, соответственно, 5 мм + 0,5 мм/км и 5 мм + 1,0 мм/км. Компактная и легкая система Trimble R3 выдерживает значительный температурный перепад воздействия и избыточную влагу, что делает ее надежным одночастотным решением.

В приемнике Trimble R3 компании Trimble Navigation используется уже испытанная технология уменьшения влияния эффекта многолучевости Maxwell. Приемник работает под управлением операционной системы Microsoft Windows Mobile для Pocket PC, которая принята в качестве стандарта для КПК. При работе с системой Trimble R3 можно использовать стандартные программы для Pocket PC, такие как Pocket Word и Excel. Встроенная память Trimble R3 составляет 64 Мбайт и позволяет регистрировать данные полевых измерений, выполненных в течение 900 ч с интервалом записи 15 с от 6 спутников. Пониженное энергопотребление системы позволяет решать производственные задачи на одном встроенном аккумуляторе без использования внешнего источника питания в течение 8 часов работы.

Программное обеспечение (ПО) Digital Fieldbook управляет работой системы Trimble R3 в поле. С помощью данной программы можно проводить съемки в режимах «Статика», «Быстрая Статика», «Кинематика Стою-Иду» и «Непрерывная Кинематика» достаточно легко, быстро и продуктивно. ПО имеет простой интерфейс, что дает возможность пользователям достичь максимальной эффективности за короткие промежутки времени. Кроме того, позволяет загружать в контроллер

файлы подложки в форматах DXF и SHP, что упрощает процесс ведения съемки и улучшает визуализацию и качество полевых измерений.

Используя сенсорный дисплей контроллера Trimble Recon можно управлять работой программы, получать доступ к любой информации в кратчайшие сроки, что ускоряет работу в поле. Программа позволяет сохранять данные съемки в отдельном job-файле для передачи полевых данных и постобработки в ПК.

Новое офисное программное обеспечение Trimble Business Center – мощная, но простая в использовании программа для постобработки одночастотных GPS-данных. Trimble Business Center позволяет передавать полевые GPS-данные в офисный компьютер для последующей обработки базовых линий и получения результатов сантиметровой точности. С помощью программного продукта Trimble Business Center также можно выполнять преобразование данных, вычисление векторов, контроль качества и уравнивание сетей. Имеет средства поиска и исправления полевых ошибок.

Данный прибор не является комплексным решением, в связи с тем, что это не разработанный прибор, а дополнение к уже существующему контроллеру. Обработку геодезических измерений можно проводить, если приобрести дополнительное ПО. Кроме того, могут быть загружены карты только как фоновые, что не позволяет решать вопросов ГИС, связанных с классификацией объектов.

Интегрированная геодезическая система Leica SR20

Одночастотная геодезическая система для выполнения высокоточных измерений Leica SR20. Накопитель GPS-данных Leica SR20 снабжен простым в использовании, защищенным спутниковым приемником с мощным набором функций для решения различных геодезических задач. SR20 предназначен для выполнения точных измерений в режимах «статика» и «кинематика» с пост-обработкой, сбора данных в режиме реального времени, с использованием сигналов спутников SBAS (Satellite Based Augmentation Systems), таких как WASS и EGNOS и многого другого.

Мощный GPS приемник, в системе SR20 обеспечивающий результат с сантиметровой точностью, отвечает требованиям к геодезическим съемкам и сбору данных в форматах ГИС. Имеются комплекты из одного и двух приемников SR20, которые содержат все необходимые аксессуары для начала работ. Высокоточная и прочная GPS-антенна включена в комплект. Она чрезвычайно хорошо отслеживает сигналы спутников GPS в трудных условиях.

Стандартная система поставляется с программным обеспечением Leica Geo Office. Это мощное программное обеспечение для обработки GPS данных, снабженное дружелюбным интерфейсом и предоставляющее все необходимые средства для управления, отображения, обработки, импорта и экспорта данных приемника SR20. Leica Geo Office может быть расширено функциями для обработки данных измерений, выполненных приемниками GPS1200, электронными тахеометрами и нивелирами, а также уравнивания и преобразования координат.

SR20 может быть настроен для выполнения различных производственных задач и использован как геодезический GPS-приемник для выполнения измерений

в режимах «статика» и «кинематика», как базовая GPS станция или как простой навигатор для поиска геодезических пунктов. Также он может быть модернизирован до приемника GS20 для сбора ГИС данных с описаниями и атрибутами объектов. Расширить функциональность приемника в любое время возможно, подсоединив к нему различные внешние измерительные устройства через серийный порт или Bluetooth. Дополнительно возможно использование сигналов береговых маяков, подключение мобильных GSM телефонов и других устройств для измерений в режиме реального времени. Меню SR20 содержит несколько прикладных программ, которые могут быть использованы для различных вычислений и получения оптимальных результатов.

Однако данная система не имеет цветного экрана, что не позволяет с высоким качеством и необходимым разрешением и наглядностью отображать картографическую информацию. В связи с отсутствием съемной памяти и невозможности ее расширения, функциональные и технические возможности по работе с цифровой информацией в системе SR20 жестко ограничены. Система SR20 не оснащена операционной системой и имеет строго ограниченное встроенное программное обеспечение, которое не позволяет непосредственно работать с ГИС продуктами.

По результатам проведенного выше исследования можно составить результирующую сравнительную таблицу основных интегрированных аппаратных средств ГНСС (табл. 5):

Табл. 5. Интегрированные аппаратные средства ГНСС

| Геодезические GPS-приемники | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Фирма-производитель | Magellan | Trimble | Leica |
| Название моделей | ProMark3 | R3 | SR20 |
| Год выпуска | 2006 | 2005 | 2004 |
| Система/сигналы | | | |
| GPS полные фазы несущих (L1, L2, L5) | L1 | L1 | L1 |
| GPS коды (C/A, P(Y), L2C) | C/A | C/A | C/A |
| ГЛОНАСС (да/нет) | нет | нет | нет |
| Galileo (да/нет) | нет | нет | нет |
| Возможность использования данных SBAS (WAAS/EGNOS/MSAS) (да/нет) | да | да | да |
| Макс. число отслеживаемых спутников \ число каналов | 14 | 12 | 12 |
| Конструкция приемник/антенна (раздельная/совмещенная) | совмещенная | раздельная | раздельная |
| Возможность подключения внешней антенны (да/нет) | да | да | да |
| Система питания | | | |
| диапазон входного напряжения (В) | 3.7В | 3.7В | 7.2В |
| вид источников питания (батарейки/аккумуляторы) и их тип | аккумуляторы | аккумуляторы | аккумуляторы |

Продолжение табл. 5

Геодезические GPS-приемники

| | | | |
|---|---------------|---------------|---------------|
| стандартное число источников питания (шт) | 1 | 1 | 1 |
| емкость источника питания (Ач) | 3900mAh | 3960mAh | 2100mAh |
| время непрерывной работы одного комплекта источников питания до их замены (часов) | 8 | 8 | 8 |
| возможность подключения внешнего источника питания (да/нет) | да | да | да |
| возможность замены источников питания без прерывания съемки | да | нет | нет |
| Единство конструкции | да | нет | да |
| Размеры (см) | | | |
| приемник | 19.5x9.0x4.6 | 9.5x4.4x24.2 | 21.5x9x5 |
| антенна | R19 h9,6 | R16,2 h6,2 | R17,3 h7,2 |
| Вес (кг) | | | |
| приемник (с аккумуляторами) | 0,48 | 0,62 | 0,652 |
| антенна | 0,45 | 0,39 | 0,32 |
| подвижного комплекта для кинематики \ RTK (с батареями, контроллером и вешкой) | 0,78 | | |
| Точность в статике (мм + мм/км) | | | |
| в плане | 5+1 | 5+0,5 | 10+2 |
| по высоте | 10+2 | 5+1 | 20+2 |
| Точность в кинематике (мм + мм/км) | | | |
| в плане | 12+2,5 | 10+1 | 10+1 |
| по высоте | 15+2,5 | 20+1 | 20+1 |
| Точность в RTK (мм + мм/км) | | | |
| в плане | 10+2 | нет | нет |
| по высоте | 20+2 | нет | нет |
| время инициализации (сек) | 15 | нет | нет |
| возможность работы в сетях VRS (да/нет) | да | нет | нет |
| Точность при DGPS (м) | | | |
| в плане | менее метра | менее метра | менее метра |
| Возможность подключения внешнего радиомодема | УКВ/GSM/NTRIP | нет | нет |
| Условия эксплуатации приемника | | | |
| диапазон рабочих температур (°C) | от -20 до 60 | от -30 до 60 | от -20 до +55 |
| диапазон температур хранения (°C) | от -20 до 70 | от -40 до 70 | от -40 до +75 |
| допустимая влажность (%) | 100 | 100 | 99 |
| ударостойкость (с высоты (м)) | 1,5 на бетон | 1 на бетон | |
| вибростойкость | MIL-STD-810-F | MIL-STD-810-F | |
| Запись данных | | | |
| Расположение памяти (приемник/контроллер) | приемник | приемник | приемник |

Продолжение табл. 5

| Геодезические GPS-приемники | | | |
|---|---------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Тип носителя памяти (встроенная и/или съемная) | встроенная + съемная | встроенная + съемная | съемная |
| объем (Мб) | 128+84 (расширение до 2Гб) | 64 | 32 (расширение до 2Гб) |
| объем в часах (с указанием дискретности интервала записи и числа спутников) | 72 (10 спутников с интервалом 1 сек.) | 30(6 спутников с интервалом 1 сек.) | 15 (6 спутников с интервалом 1 сек.) |
| Разное | | | |
| Наличие цветного дисплея в приемнике (да/нет) | да | да | нет |
| Наличие СД индикаторов режима (шт.) | 2 | 2 | 1 |
| Наличие буквенно- цифровой вне клавиатуры (да/нет) | да | нет | нет |
| Наличие звуковой сигнализации событий | да | да | нет |
| Возможность полноценной Stop&Go кинематики без контроллера (да/нет) | да | нет | да |
| Порты связи и расширения | | | |
| RS-232 (шт.) | 1 | 1 | 1 |
| IrDA (да/нет) | нет | да | нет |
| USB (1, 2, нет) | 2 | 1 | нет |
| Bluetooth (да/нет) | да | да | да |
| CF (CompactFlash) (да/нет) | нет | да | да |
| SD (SecureDigital) (да/нет) | да | нет | нет |
| Поддержка форматов (да/нет) | | | |
| RTCM 2.1, 2.3 | да | да | да |
| RTCM 3.0 | да | нет | нет |
| CMR | да | нет | нет |
| CMR+ | да | нет | нет |
| VRS | да | нет | нет |
| FKP | да | нет | нет |
| NMEA | да | да | да |
| BINEX | да | да | да |
| NTRIP | да | нет | нет |
| Полевое программное обеспечение | | | |
| Название/производитель | Surving и MobileMapping | Digital Fieldbook | |
| Возможность добавления программ | да | да | нет |
| Программное обеспечение для постобработки | | | |
| Название/производитель | GNSS Solution MobileMapper-Office | Business Center | Leica Geo Office |

Окончание табл. 5

Геодезические GPS-приемники

| Ориентировочная стоимость | | | |
|--|--------|--------|--------|
| приемника | 200000 | 200000 | 200000 |
| минимального комплекта (приемник, антенна, аккумулятор(-ы)) + ПО | 200000 | 250000 | 300000 |

При составлении карт на персональном компьютере необходимо программное обеспечение для перевода пространственной информации о местности, полученной в результате топографической съемки, в цифровой вид и формирования собственно цифровой карты или плана. В настоящее время для этого используются средства ГИС, поддерживающие векторные и растровые модели данных.

При этом возникают вопросы, связанные с удобством обработки данных, получаемых с помощью имеющегося оборудования (электронных тахеометров, GPS-оборудования, оптических приборов и т. п.), удобством работы с растровой или векторной графикой, а также последующей конвертации и передачи результатов обработки в различные системы автоматизированного проектирования, интеграции издательских и геоинформационных технологий при подготовке карт к печати. Поддержка нескольких моделей данных является одним из критериев при выборе программного средства, поскольку от правильного выбора модели зависит эффективность и оптимизация обработки пространственной информации. Обработка результатов полевых измерений, как правило, производится с помощью специального программного обеспечения, не входящего в состав ГИС. Поэтому в ИССК рассматриваются ГИС, ориентированные на работу как растровых, так и векторных данных (фотопланов, карт, цифровых моделей местности). При этом эти ГИС-продукты должны обеспечивать перекодировку и преобразование массива «сырых» данных; перевод исходных материалов в векторный формат; привязку семантической информации к графическим данным, представленным в векторном формате; организацию взаимосвязей между объектами при выполнении пространственного анализа.

Как отмечалось ранее, на современном этапе применяются различные инструментально-программные продукты ГИС, список которых очень широк, поэтому в рамках исследования возникает необходимость ограничить его по следующим критериям:

- известность и востребованность;
- возможность обработки результатов измерений, полученных непосредственно из системы топографической съемки;
- возможность и удобство работы с растровым и векторным форматом информации;
- использование систем автоматизированного проектирования и других программных продуктов для создания и обновления топографических карт и планов;
- возможность подготовки карт к изданию.

В настоящее время на российском рынке представлено несколько подобных систем, среди которых можно выделить следующие: КБ Панорама, MapInfo, ArcGIS.

КБ Панорама ГИС Карта

Система многофункциональна и полностью открыта для решения широкого круга задач, использующих информацию о местности.

Система позволяет создавать векторные, растровые и матричные карты, а также оперативно обновлять различную информацию о местности.

База данных электронных карт имеет иерархическую структуру. На нижнем уровне хранится информация об отдельных объектах карты. Объекты могут объединяться в группы, слои и листы карт. Совокупность листов карт одного масштаба и вида составляет район работ - отдельную базу данных электронных карт. Описание отдельного объекта состоит из метрических данных (координат на местности), семантических данных (свойств объекта), текстовых справочных данных, иллюстративных графических данных и других данных, включая уникальный номер объекта, через который осуществляется логическая связь с внешними реляционными БД.

Объем отдельной базы данных электронных карт может составлять несколько терабайт (Тб). Обновление базы выполняется в режиме выполнения транзакций, что обеспечивает восстановление при сбоях и откат на любое число шагов назад. Система управления поддерживает высокопроизводительный алгоритм индексации данных, что обеспечивает максимальную скорость поиска и отображения объектов карты на стандартных технических средствах.

Основными функциями системы Карта при создании топопланов являются:

- создание и использование иерархической структуры базы данных электронных карт, имеющей уровни: район работ, листы карты, слой объектов, отдельные объекты местности;
- редактирование содержимого базы данных электронных карт с использованием графического интерфейса-пользователя: создание нового уровня, обновление, удаление, копирование и восстановление объектов карты;
- визуализация содержимого базы данных в условных знаках, принятых для топографических, обзорно-географических, кадастровых и других видов карт;
- поддержка стандартных систем классификации, кодирования объектов и их характеристик в соответствии с требованиями Роскартографии и других федеральных служб;
- поддержка пользовательских условных знаков, слоев, объектов и их характеристик; для отображения условных знаков могут применяться графические примитивы, не поддерживаемые в GDI системы Windows (пунктирные линии различной длины и ширины, заполнение площадного объекта точечными условными знаками размером больше 8x8 и т. д.);
- выполнение расчетных операций: определение площади, длины, периметра, построение зон отсечения, ведение статистики по характеристикам объектов;
- вывод на внешние устройства печати изображения электронной карты в принятых условных знаках; поддержка векторных и растровых устройств печати, цветных и черно-белых; изменение состава объектов и масштаба карты при печати;

- отображение выводимой информации в режиме WYSIWYG;
- поддержка программного интерфейса для различных сред программирования: C++, C, Pascal, Delphi, Visual Basic, Builder C++ и других.

Программное обеспечение ГИС Карта имеет модульную многозадачную структуру. Все модули вызываются из общей управляющей оболочки.

В состав программного обеспечения входят:

- система управления электронными картами;
- управляющая оболочка;
- сервисные модули.

Управляющая оболочка реализована в виде выполняемого файла – PANORAMA.EXE. Она отвечает за пользовательский интерфейс (работу оператора). Система управления электронными картами реализована в виде динамической библиотеки (DLL). Она выполняет функции специализированной СУБД электронных карт.

Такая структура программного обеспечения позволяет пользователям разрабатывать собственные задачи путем замены управляющей оболочки графической среды на программу пользователя и вызова соответствующих функций из динамических библиотек через интерфейс прикладного программирования.

Система электронных карт позволяет обрабатывать следующие виды цифровых картографических данных:

- векторные карты (представленные в открытом формате SXF. Данные из других форматов (F1M, S57, MIF / MID, DXF и других) могут быть конвертированы в формат SXF и обратно.);
- растровые изображения местности (растровые карты);
- матричные данные о местности.

Различные виды цифровых данных могут обрабатываться совместно или отдельно. Цифровые данные могут конвертироваться в разные форматы, преобразовываться из одного вида в другой, отображаться на графических дисплеях, выводиться на внешние печатающие устройства, редактироваться, трансформироваться и так далее.

MapInfo Professional – полнофункциональная геоинформационная система. В настоящее время ГИС MapInfo Professional является одной из наиболее широко распространенных систем в области цифрового картографирования. В дополнение к традиционным для СУБД функциям MapInfo позволяет собирать, хранить, отображать, редактировать и обрабатывать картографические данные, хранящиеся в базе данных, с учетом пространственных отношений объектов.

Источники данных MapInfo перечислены далее.

- Обменные векторные форматы и геоинформационные системы: AutoCAD (DXF, DWG), Intergraph/MicroStation Design, ESRI Shape файл, ARC/INFO Export, а также растровые карты в форматах GIF, JPEG, TIFF, PCX, BMP, MrSID, PSD, ECW, BIL (снимки SPOT) и GRID (GRA, GRD). В MapInfo можно отображать данные, полученные с помощью GPS и других электронных геодезических приборов.

- Файлы Excel, Access, xBASE, Lotus 1-2-3 и текстовые, в которых кроме атрибутивной информации могут храниться координаты точечных объектов.

ГИС MapInfo может выступать в роли «картографического клиента» при работе с такими известными СУБД, как Oracle и DB2, поскольку поддерживает эффективный механизм взаимодействия с ними через протокол ODBC. Более того, доступ к данным из СУБД Oracle возможен и через внутренний интерфейс (OCI) этой базы данных.

В одном сеансе работы одновременно могут использоваться данные разных форматов. Встроенный язык запросов SQL, благодаря географическому расширению, позволяет организовывать выборки с учетом пространственных отношений объектов, таких как: удаленность, вложенность, перекрытия, пересечения, площади объектов и т. п. Запросы к базе данных можно сохранять в виде шаблонов для дальнейшего использования. В MapInfo имеется возможность поиска и нанесения объектов на карту по координатам, адресу или системе индексов.

Способы представления данных описаны далее.

- Карта и список. В окне Карты доступны инструменты редактирования и создания картографических объектов, масштабирования, изменения проекций и другие функции работы с картой. Связанная с картографическими объектами атрибутивная информация хранится в виде таблиц, данные из которых можно представить в виде графиков и диаграмм различных типов.
- Легенда. В окне Легенды отображаются условные обозначения объектов на карте и тематических слоях.
- Отчет. В окне Отчета предоставляются средства масштабирования, макетирования, а также сохранения шаблонов многолистных карт. Работая с MapInfo, можно формировать и распечатывать отчеты с фрагментами карт, списками, графиками и надписями. При выводе на печать MapInfo использует стандартные драйверы операционной системы.
- Для наглядного представления и картографического анализа пространственных данных в ГИС MapInfo широко используется тематическое картографирование. MapInfo предлагает следующие методы построения тематических карт: диапазоны значений, столбчатые и круговые диаграммы, градуированные символы, плотность точек, отдельные значения, непрерывная поверхность. Сочетание тематических слоев и методов буферизации, районирования, слияния и разбиения объектов, пространственной и атрибутивной классификации позволяет создавать синтетические многокомпонентные карты с иерархической структурой.

Для удобства картографирования разработаны следующие дополнительные средства.

- Просмотр списка открытых таблиц.
- Новый шрифт для отображения символов с совпадающими координатами.
- Объединение карт.
- Выбор предпочтительных единиц измерения расстояний и площадей.
- Быстрое отображение результатов запроса.
- Копирование окон «Статистика» и «Сообщение».

- В окно списка добавлена возможность вычисления выражений и сохранения настроек.
- В MapInfo Professional внесены дополнения и изменения в утилиты, позволяющие унифицировать и улучшить манипулирование с пространственными данными при создании электронных карт. При помощи новой версии утилиты MapInfo Professional® Связь с Google Earth™ появилась возможность экспортировать собственные картографические данные и отображать их на картах Google Earth. В области печати, импорта и экспорта в MapInfo Professional включены:
 - печать крупноформатных изображений (форматы D, E и A0);
 - настройка сглаживания текстовых шрифтов;
 - настройка сглаживания изображений;
 - печать карт в файлы PDF;
 - работа с растровыми изображениями.

А также усовершенствованы функции для работы с растровыми изображениями, среди которых отметим следующие: перепроецирование растровых изображений, что дает хороший контроль при обновлении карт и возможность работы с аэрофотоизображениями и картами как в векторных, так и в растровых форматах.

Кроме того, в последних версиях MAPINFO разработаны приложения для трехмерного анализа и визуализации данных, обработки геодезических измерений, оформления карт для печати, использования CAD-функций и библиотеки топографических знаков в соответствии с ГОСТом.

ArcGIS 9 – семейство программных продуктов компании ESRI, признанного лидера в создании и продвижении геоинформационных систем.

Фундаментальная архитектура ArcGIS 9 обеспечивает возможность ее использования на разных уровнях организации работы: на персональных компьютерах, на серверах, через Web, или в «полевых» условиях.

База геоданных, созданная компанией ESRI, модель, определяющая структуру и правила хранения различных видов геопространственных данных – векторных и растровых, адресных точек, данных геодезических и фотограмметрических измерений.

В базе геоданных пользователи могут задавать правила и отношения внутри хранилища, которые определяют поведение пространственно взаимосвязанных географических объектов и объектных классов и обеспечивают целостность данных (что «обычно» называют топологией). База геоданных позволяет проводить редактирование как в многопользовательском режиме, так и в автономном, с возможностью синхронизации версий.

Экспорт базы геоданных в формат XML позволяет перевести всю базу геоданных или отдельные ее элементы (например, таблицы, домены, правила топологии) в обменный формат, доступный для других приложений.

Геообработка пространственных данных - одна из основных функций ГИС содержит в ArcGIS 9 более 450 инструментов: для проведения анализа, конвертации, управления данными, геокодирования, динамической сегментации, работы

с растрами: от оверлейных операций, построения буферных зон, инструментов для выявления пространственных закономерностей и управления данными до расширенных возможностей обработки растров, методов интерполяции и оценки качества данных, зональной фильтрации, многофакторного анализа, построения и проверки топологии и др.

Таким образом, совокупность программных продуктов ArcGIS 9 позволяет производить качественные электронные карты со всеми необходимыми элементами зарамочного оформления, использованием прозрачности, собственных или уже готовых стандартных условных знаков, штриховок, градуированных символов, картограмм и диаграмм, а так же и другие виды представления пространственных данных, например в виде схем сетевых объектов или 3D визуализации.

Так ArcGIS 9 предоставляет возможность для создания виртуальной 3D сцены. Можно быстро создать реалистичную виртуальную 3D сцену на основе пространственных данных как на локальном, так и на глобальном уровнях с использованием цифровых моделей рельефа, космических и аэроснимков, любых векторных пространственных данных и реальных фотографий объектов.

При этом работа с трехмерными объектами может быть организована как и со стандартными ГИС-слоями – делать выборки, получать атрибутивную информацию, оформлять сцены в соответствии с поставленными задачами.

В состав ArcView 9 входят три приложения: ArcMap, ArcCatalog и ArcToolbox для ArcView. Это набор мощных инструментов для картографирования, создания отчетов и картографического анализа.

ArcGIS предоставляет пользователям более совершенный путь получения, обработки и хранения данных. Проведение сравнения и обновления базы ГИС данных непосредственно в поле с географическими объектами реального мира обеспечивает большую достоверность этой базе данных.

Подводя итог можно сделать следующие выводы.

Программные средства «Панорама», «MapInfo» и «ArcGIS» с успехом применяются для создания, хранения, обновления и распространения (при наличии специальных возможностей) ЦТК. Данные программы могут обрабатывать значительные объемы пространственных данных. Отвечают требованиям, предъявляемым при создании, хранении и распространении ЦТК. Более раннее появление на российском рынке, простота освоения и использования, а так же более низкая стоимость системы выдвигают в настоящее время на передний план по применению в РФ ГИС «Панорама» и «MapInfo». Однако создание геоинформационных систем и их интеграция с аппаратурой ГНСС при создании и обновлении топографической информации, баз данных, в том числе и в режимах On-Line и пост-обработке, имеет ряд нерешенных вопросов по конвертации данных. Многолетнее применение и мировой опыт создания ГИС с использованием технологий ArcGIS в странах с высоким уровнем информатизации, позволяют говорить о его некоторых технических преимуществах над другими. При помощи дополнительных утилит в ArcGIS 9 возможно реализовать более совершенный подход для сбора, анализа, обработки, хранения и обновления пространственной информации.

6.3. Примеры реализации ГИС

6.3.1. Использование ГИС в задачах земельного кадастра

Одной из важнейших областей применения электронных карт является создание единого кадастра земельных участков Российской Федерации.

Под кадастром земельных участков Российской Федерации будем понимать свод сведений об официальной регистрации правоотношений, состояния и стоимостной оценке недвижимости и природных ресурсов земельных участков.

Кадастр земельных участков должен являться информационной основой для комплексной оценки состояния территорий и обеспечивать органам управления различными уровнями информационную поддержку для принятия решений по управлению территориями по:

- проведению земельной реформы;
- анализу изменений в землепользовании;
- планированию использования территорий;
- налогообложению;
- экологической паспортизации земель;
- планированию работ по техническому обслуживанию дорог, путепроводов и инженерных коммуникаций;
- инвентаризации инженерных коммуникаций и пр.

Кадастр земельных участков должен обеспечивать единое описание всех земельных участков и недвижимости с точки зрения их фактического состояния и права.

Единая кадастровая система состоит из следующих уровней:

1-й уровень – Российская Федерация в целом;

2-й уровень – автономные республики, края и области;

3-й уровень – автономные области и национальные округа;

4-й уровень – районы и города республиканского, областного, краевого и окружного подчинения.

Картографической основой для использования пространственно – привязанных кадастровых данных должны являться цифровые карты и планы, содержащие топографо-геодезические данные о местности:

- для 1-го уровня – 1 : 200 000–1 : 1 000 000;
- для 2-го уровня – 1 : 25 000–1 : 200 000;
- для 3-го уровня – 1 : 10 000–1 : 50 000;
- для 4-го уровня – 1 : 2000–1 : 10 000.

Электронные кадастровые карты должны создаваться на базе унифицированных технологий в единой системе координат.

Состав и содержание топографо-геодезических данных должны обеспечивать геодезическую привязку кадастровых данных, решение расчетных задач, формирование необходимых графических документов, а также создание кадастровых карт территорий.

Кадастр земельных участков должен содержать следующие данные:

- о площадях и видах использования земельных участков;
- о недвижимости, размещенной на участке;
- сведения о владельцах земельных участков и недвижимости;
- о строении и урожайности почвы (для сельских районов);
- о состоянии инженерных коммуникаций;
- об экологическом состоянии участков;
- о стоимости земельных участков и недвижимости;
- об общественно-правовых отношениях и ограничениях при совершении сделок с земельными участками и недвижимостью;
- об «истории» земельного участка и др.

Для обновления кадастровой информации должна быть реализована подсистема мониторинга земель.

Следует выделить два основных типа задач информационного характера, с решением которых связано функционирование земельного кадастра: создание информационной основы земельного кадастра и его текущее ведение. Решение указанных задач заключается в сборе земельно-кадастровой информации и ее постоянной актуализации. Сбор и актуализация информации осуществляется в результате выполнения земельно-кадастровых работ, а также взаимодействия с другими отраслевыми реестрами и базами данных.

Информационная основа земельного кадастра создается в результате проведения таких земельно-кадастровых работ, как инвентаризация земель и кадастровые съемки. Эти работы охватывают целые территории (район, населенный пункт) и финансируются из бюджета администрации соответствующего уровня. Текущее ведение земельного кадастра использует результаты земельно-кадастровых работ, отнесенных к отдельному участку, таких как межевание и съемка участка. Оба вида работ являются главными источниками пространственных данных, составляющих содержание земельного кадастра. При этом наиболее важными представляются инвентаризация земель и кадастровые съемки, обеспечивающие формирование информационной основы кадастра за сравнительно короткий промежуток времени.

Результаты инвентаризации земель какой-либо территории представляются в том числе в виде картографического материала, а на кадастровой карте должны быть отображены фактические границы всех земельных участков, что в полной мере можно выполнить только в результате полевого обследования, проводимого при инвентаризации. Поэтому оба процесса следует рассматривать как единое целое.

В результате работ по инвентаризации/кадастровым съемкам земель территории формируются пространственные данные двух типов: картографические и фактографические (описательные).

Картографические данные – это кадастровая карта в цифровой форме или в виде твердой копии. Описательные данные представляются в виде инвентаризационных ведомостей (форм), содержащих подробную информацию, относящуюся к земельному участку. Все объекты, представленные на кадастровой карте, имеют

пространственную привязку, т. е. их положение определено в той или иной системе координат, принятой при создании карты. Очевидно, что для автоматизированной информационной системы земельного кадастра, основанной на применении той или иной ГИС, интерес представляет именно цифровая кадастровая карта. Описательные данные участка составляют содержание базы данных информационной системы. Для связи объектов этой базы данных (земельные участки) с их представлениями на кадастровой карте используются идентификаторы земельных участков (кадастровые номера). В свою очередь, цифровая кадастровая карта представляет собой совокупность метрических (графических) и семантических данных, а также данных, характеризующих карту в целом (паспорт карты), а не только векторные графические данные, как часто упрощенно понимается.

Совокупность картографических и фактографических данных, связанных единым идентификатором, составляет информационную основу земельного кадастра, а их ввод в автоматизированную информационную систему земельного кадастра означает наполнение содержанием базы данных системы, после чего начинается ведение кадастра. В этой связи данные должны отвечать следующим принципиальным требованиям:

- полнота охвата всех участков и земель территории, означающая отражение в материалах инвентаризации/кадастровой съемки сведений о всех участках и землях, обеспечивающих сводный баланс земель территории;
- использование земельного участка в качестве основной учетной единицы;
- отражение фактической ситуации в отношении сложившихся границ и использования земельных участков.

Описательные данные участка, содержащиеся в инвентаризационной ведомости (форме), должны отражать как минимум следующие характеристики земельных участков:

- кадастровый номер (предыдущий и вновь присвоенный);
- местоположение, т. е. адресное описание;
- целевое назначение, фактическое использование;
- признаки закрепления границ участка;
- площадь земельного участка;
- кадастровая оценка земельного участка (или сведения, определяющие оценку);
- сведения о льготах на уплату земельного налога (или иного платежа);
- правовой статус земельного участка;
- правоустанавливающие и правоудостоверяющие документы на землю;
- сведения об ограничениях, обременениях и связанных с ними частях земельного участка;
- сведения об объектах недвижимости, расположенных на земельном участке;
- сведения о субъектах права на землю и их учетные данные.

Конкретный перечень сведений, подлежащих сбору и отражению в инвентаризационных ведомостях, и формы их представления должны регламентироваться соответствующим нормативно-техническим документом.

Кадастровая карта является картографическим компонентом информационной основы земельного кадастра и предназначена для наглядного отражения результатов инвентаризации земель, определения местоположения земельных участков, их границ и площади; она используется как основа для последующего ведения дежурной кадастровой карты, а также как инструмент управления земельными ресурсами (контроль за использованием, организация конкурсов и аукционов, принятие решений по выделению земельных участков и пр.).

Для кадастровых карт и планов территорий населенных пунктов, как правило, используются масштабы 1 : 2000, 1 : 1000, а при обоснованной необходимости – 1:500, для территорий вне населенных пунктов – 1 : 5000 – 1 : 10 000. Следует отметить, что для цифровой кадастровой карты масштаб является показателем содержания и степени обобщения отображаемых объектов, а также точности положения контуров объектов.

Таким образом, координаты поворотных точек границ участков определяются с точностью кадастровой съемки, т. е. с точностью отображения этих точек на кадастровой карте (плане) соответствующего масштаба. При этом средняя погрешность положения четко определяемых на местности (известных) границ земельных участков относительно ближайших точек съемочного обоснования или точек опорной межевой сети не должна превышать 0,5 мм в масштабе карты. Средняя погрешность взаимного положения точек границ при этом должна и может быть ниже. Вполне обоснованно требовать, чтобы она не превышала 0,3 мм в масштабе карты.

Таким образом, точность представления положения объектов (земельных участков) на кадастровой карте определяется масштабом и методами кадастровой съемки. Одним из основных методов кадастровой съемки является аэрофототопографический с использованием цифровой технологии, как наиболее производительный и эффективный. Причем для застроенной территории следует применять стереотопографическую съемку, а для территорий вне населенных пунктов – съемку на ортофотоплане. Для застроенных территорий эти методы могут сочетаться, при этом здания и высокие сооружения должны сниматься путем стереофотограмметрических измерений, а остальная часть – с использованием ортофотоплана. В исключительных случаях для съемки небольших территорий в крупных масштабах целесообразно применять тахеометрическую или теодолитную съемку. Кроме того, при наличии традиционного графического представления кадастровой карты (на бумаге или пластике) возникает задача преобразования ее в цифровую форму, при этом, как правило, она актуализируется.

Для кадастровых съемок может использоваться как государственная, так и местная система координат. При использовании местных систем координат необходимо определять и хранить параметры перехода к государственной системе координат. Важно, чтобы единая система координат распространялась на всю территорию проведения работ. Для кадастровых карт и планов населенных пунктов целесообразно использовать прямоугольную условную разграфку листов и номенклатур. Для карт в масштабе 1 : 10 000, составленных в государственной системе

координат, должна применяться стандартная разграфка и номенклатура, в иных случаях – произвольные системы разграфки и номенклатуры.

Весьма важным требованием является содержание кадастровых карт и планов. Документом, регламентирующим их содержание, должен быть классификатор объектов кадастрового картографирования, содержащий сгруппированные по классификационным группировкам перечни объектов с их кодами, перечнями характеристик и условиями отображения. Такой документ не только исчерпывающе определял бы содержание карт, но мог бы непосредственно использоваться для семантического описания объектов на цифровой кадастровой карте.

Тем не менее определенная концепция содержания кадастровой карты может быть сформулирована. Очевидно, что оно должно быть направлено на решение конкретных задач земельного кадастра, т. е. большей частью отражать земельно-кадастровую специфику и в минимально необходимой степени представлять топографическую основу, служащую для ориентации, – визуальной оценки местоположения кадастровых объектов относительно объектов местности.

Объектами специального содержания земельно-кадастровых карт должны быть:

- земельные участки и иные землепользования, их границы с разделением по видам, в том числе границы территорий с неопределенным правовым статусом (например, незаконно используемые, бесхозные);
- единицы кадастрового зонирования (кадастровые кварталы, массивы, зоны);
- объекты административно-территориального деления;
- границы функциональных зон (водоохранных, санитарной защиты, заповедных и пр.).

Последняя из перечисленных групп объектов характеризуется определенной сложностью и трудоемкостью сбора информации. Поэтому эта часть содержания земельно-кадастровой карты может не быть представлена непосредственно в результате проведения кадастровых съемок, а формироваться постепенно, дополняя содержание имеющейся кадастровой карты.

Объектами топографической основы земельно-кадастровых карт должны представляться:

- пункты геодезических, межевых сетей;
- объекты жилой застройки (здания, сооружения, улицы, площади);
- промышленные объекты (здания, сооружения, трубопроводы, линии электропередач и связи);
- сельскохозяйственные здания и сооружения;
- железные и автомобильные дороги (обобщенно) и сооружения при них;
- объекты гидрографии (реки, каналы, водоемы, гидротехнические сооружения);
- отдельные объекты рельефа;
- обобщенные объекты растительности.

Цифровая земельно-кадастровая карта должна представляться в векторном формате. Конкретный формат передачи (обменный формат) цифровой земельно-кадастровой карты также должен регламентироваться соответствующим нормативно-техническим документом. Отсутствие такой регламентации в условиях расширяющихся работ по созданию цифровых земельно-кадастровых карт приводит к проблемам информационного интерфейса между различными информационными системами используемыми для создания карт и последующего их применения. Часто эта проблема недооценивается и цифровая кадастровая карта трактуется упрощенно, например как некий векторный графический файл.

Основные требования к формату представления цифровой кадастровой карты могут быть изложены следующим образом. Формат должен представлять собой векторную модель, описывающую объекты и явления местности (а не их графические образы), обеспечивать передачу паспорта цифровой кадастровой карты, метрического и семантического описания объектов.

Паспорт цифровой кадастровой карты должен содержать ее необходимые общие характеристики (номенклатура или название, сведения об исполнителе, масштаб, способ создания карты, используемая система координат, высот и разграфка, общие характеристики точности и пр.). Аспекты графического отображения объектов местности на карте (экране) с помощью условных знаков не должны являться предметом содержания формата. Формат не должен зависеть от способа создания цифровой кадастровой карты и используемых для этого технологии и программного продукта. Формат должен обеспечивать представление метрики объектов как цепочно-узловой структурой, так и позволять описывать метрику объектов, представленную последовательной моделью. Структура описания семантики объекта должна быть независима от содержания классификатора, позволять выделять объект из общего множества классифицируемых объектов и передавать любое количество характеристик множеством пар: код характеристики, значение характеристики. Должна обеспечиваться возможность характеризовать точность метрических данных каждого отдельного объекта. Формат должен быть прост, легко дополняться новыми типами записей, например описывающими пространственно-логические связи объектов.

Создание кадастровой ГИС-продукции разбивается на ряд этапов: постановка задачи, выбор исходных съемочных материалов, подбор фактологических данных, оцифровка картографического материала, привязка фактологических данных к картографическим объектам, разработка методики использования созданной ГИС-продукции.

При создании кадастрового ГИС-продукта необходимо ориентироваться на создание интегрированных кадастровых ГИС, включающих в себя земельный, лесной, природоресурсный, юридический, фискальный и другие кадастры. Топоосновой для создания кадастровых карт служит базовая топооснова. Выбор масштаба и проекции базовой топографической карты должен быть обоснован. Известно, что по территориальному охвату ГИС делятся на глобальные, или планетарные, субконтинентальные, национальные, обычно имеющие статус государственных,

региональные, субрегиональные, локальные или местные, разновидностью которых являются, например, муниципальные ГИС.

Таким образом, кадастровая ГИС масштаба 1 : 2000 опирается на топографические съемки масштаба 1 : 2000, план подземных инженерных коммуникаций, план линий градостроительного регулирования.

Вторым важным моментом после выбора топоосновы является разработка классификатора для ГИС. Топографический план включает следующие категории объектов: геодезические пункты, строения, здания и их части, памятные места, ограждения, промышленные здания и сооружения, наземные инженерные коммуникации, сельскохозяйственные объекты, транспорт, мосты и путепроводы, гидрография и гидротехнические объекты, рельеф и грунты, растительность.

Планы подземных инженерных коммуникаций включают категории объектов: водопровод, промышленный водопровод, канализация самотечная, канализация напорная, газопровод, теплопровод, водосток, дренаж, кабели связи, кабели защиты, кабельная сеть Мосэнерго, прочие кабельные сети, коллектор, топливопровод, прочие прокладки, бездействующие коммуникации.

Кадастровая ГИС масштаба 1 : 25 000 опирается на картографический фонд (разрешенный к открытому распространению и использованию), схему магистральных подземных инженерных коммуникаций, схему линий градостроительного регулирования, схему территориального деления города.

Картографический фонд включает категории объектов: растительный покров, водоемы, наземные коммуникации, схема улиц, застройка (кварталы).

Третьим важным шагом в создании ГИС для кадастра является выбор инструментально-программных средств, среди которых наиболее распространены системы MAPINFO, ARCINFO, «ПАНОРАМА», «Нева» и др. Создание земельного кадастра способствует увеличению поступления платежей за землю, развитию рынка земли и недвижимости, защите прав граждан и юридических лиц на землю. Потребителями кадастровой информации являются как органы государственной власти и местного самоуправления, так и граждане, научно-исследовательские, учебно-консультативные, проектные и другие организации разных форм собственности и различного направления деятельности, осуществляющие операции с землей и недвижимостью, отечественные и зарубежные финансово-кредитные и коммерческие структуры, хозяйства, службы экономического контроля.

6.3.2. Применение ГИС для сохранения экологического равновесия и предупреждения чрезвычайных ситуаций

В настоящее время для исследования природы и окружающей среды широко используются данные дистанционного зондирования (ДДЗ), полученные аэрокосмическими средствами съемки. По материалам дешифрирования снимков производится обновление данных об окружающей среде на территории съемки и составление различных тематических природных и экологических карт. При этом в основном используется семантическая информация о местности, тогда как

пространственные данные, как правило, используются только для координатной привязки семантических (дешифрованных) данных. Такой подход позволяет фиксировать нарушения и различные аномалии окружающей среды, причем в основном на двух масштабных уровнях – глобальном и региональном. Для более детальных обследований территорий, а также выявления причин, вызванных нарушением окружающей среды, следует, во-первых, проводить более детальную съемку местности, а во-вторых, использовать материалы морфологических и биологических исследований на данной местности. В результате появилась необходимость в проведении макро- и микросъемки на исследуемых территориях, а также существенно возросла роль пространственного анализа как для нахождения среды обитания объектов природы, так и для определения геометрической формы объектов природы (пыльцы, семян, биоорганизмов и т. д.). Совместный анализ разнообразной и разномасштабной информации об окружающей среде требует принципиально новых подходов к обработке и интерпретации этой информации. Наиболее перспективной информационной основой проведения комплексных исследований о состоянии природы и окружающей среды могут стать геоинформационные системы и технологии, ориентированные на интегральную обработку материалов всех видов съемок.

Экосистемы характеризуются чрезвычайной сложностью и разнообразием, что обусловлено неоднородностью составляющих их компонентов, различной территориальной организацией, интенсивностью развития и т. д. В настоящее время накоплен разнообразный арсенал методов, включая и дистанционное зондирование, для оценки состояния экосистем разного уровня и отдельных их элементов. Для выявления факторов, характеризующих состояние экосистемы и отдельных ее компонентов, используется большой объем данных, поступающих из разных источников. Для картографирования процессов загрязнения и прогноза их динамики во времени и пространстве в ходе исследований рассмотрен ряд принципов, позволяющих наметить программную последовательность решения поставленной задачи.

1. Основные исходные принципы создания карт загрязнения окружающей среды:

- исследование, систематика и анализ опубликованных материалов по вопросам картографирования процессов загрязнения окружающей среды;
- сбор и анализ материалов по вопросам разработки условных знаков для отображения элементов загрязнения;
- накопление и обобщение информации о природных особенностях конкретного региона или района, численности и распределение населения, характере хозяйственной деятельности человека, источниках и видах антропогенного загрязнения среды;
- выбор и классификация объективного состава, подлежащего выносу на карту загрязнения;
- разработка классификационной системы картографических условных знаков для отображения процессов загрязнения;
- разработка библиотеки картографических машинно-ориентированных условных знаков, отображающих процессы загрязнения разных типов.

2. Разработка научно – методических основ создания собственно карт загрязнения окружающей среды:

- выбор оптимального комплекса вспомогательных и промежуточных карт, отражающих основные природные особенности, а также процессы и явления, происходящие под влиянием антропогенного загрязнения в настоящее время в конкретном регионе;
- разработка методики создания собственно карт загрязнения: назначение карт, источники составления (справочно-статистические, картографические, литературные, полевые исследования, материалы аэрокосмического мониторинга);
- определение специального содержания основного оригинала карты, выбор объектов картографирования и их классификация;
- создание математической основы;
- подготовка общегеографической основы;
- подготовка текстовых дополнений;
- проектирование легенды;
- составление авторского оригинала карты;
- создание условных картографических знаков для намеченного оптимального комплекса карт на конкретный регион.

Имея комплекс карт, в том числе и загрязнения, отражающих общую картину на настоящее время, можно создавать прогнозные карты разных типов, позволяющие проводить оценку динамики процессов загрязнения в пространстве и во времени.

3. Разработка научно-методических основ создания карт прогноза загрязнения на определенные периоды времени:

- ориентация прогноза, сбор необходимой для прогноза информации и ее анализ для общей оценки современной ситуации и выяснения тенденции развития природных образований и процессов загрязнения в пределах исследуемого региона;
- учет устойчивости территории к факторам воздействия разнообразных источников загрязнения;
- разработка частных прогнозов загрязнения по отдельным компонентам, элементам и явлениям природной среды;
- разработка общих комплексных прогнозов изменения природных условий и среды обитания человека под влиянием факторов загрязнения;
- разработка методики составления карт прогноза загрязнения окружающей среды (аналогично схемам создания методики собственно карт загрязнения).

4. Подготовка данных для составления карт районирования заданной территории по характеру и степени загрязнения.

5. Разработка методики оперативного создания и обновления прогнозных электронных карт загрязнения окружающей среды.

Для ускорения процессов обработки, преобразования информации и проведения прогнозных оценок процессов загрязнения необходимо активно использовать ГИС-технологии.

6. Разработка (выбор) оптимальной геоинформационной технологии для оперативного создания и обновления прогнозных электронных карт загрязнения.

Картографические изображения, составляющие электронные карты, должны быть согласованы и унифицированы по математической основе, содержанию и условным знакам.

Электронные карты должны быть созданы в масштабах, обусловленных первоначальной задачей, представлены в векторном виде и содержать метрическую и семантическую информацию.

Предлагаемые принципы последовательности проведения работ для оперативного создания прогнозных электронных карт загрязнения окружающей среды, основанные на интеграции материалов аэрокосмического мониторинга (прошедших обработку на цифровой фотограмметрической станции), большого объема сведений о природных особенностях и хозяйственной деятельности человека, картографических данных, заложенных в ГИС, позволяют получать широкий спектр цифровой информации по проблеме загрязнения в соответствии с многообразными требованиями практики сегодняшнего дня.

Входная информация для электронных экологических карт должна включать следующие данные:

- положение границ объектов экологического картографирования;
- массивы статистической информации о санитарно-гигиеническом состоянии и загрязнении территории (почв, грунтов, атмосферы, водных объектов и т. д.);
- результаты обработки режимных наблюдений по специализированным системам, в том числе и по международным, в особенности в рамках международных программ: ЮНЕП, ЮНЕСКО и др.;
- карты оценки современного экологического состояния компонентов природных комплексов;
- результаты дешифрирования аэрокосмической информации.

Административно-территориальные объекты включают следующие территориальные единицы:

- административные районы;
- города и промышленные центры;
- сельскохозяйственные, лесохозяйственные, промышленные и другие предприятия.

Геосистемный тип включает:

- наземные ландшафты как комплексные природные образования, испытывающие определенные антропогенные воздействия;
- водосборные бассейны разного уровня, в границах которых происходит накопление и перераспределение загрязняющих веществ;

- компоненты природной среды (атмосфера, поверхностные воды, почвы и грунты, растительный и животный мир), рассматриваемые в границах геосистем;
- техногенные территориальные образования разного вида и иерархического уровня.

Мониторинговый тип включает различные территориальные объекты, по которым ведутся экологические измерения:

- конкретные точки (пункты) земной поверхности;
- линии (маршруты) обследований;
- площади съемок.

Электронные карты должны быть созданы в масштабе 1 : 200 000 и 1 : 1 000 000, представлены в векторном виде и содержат метрическую и семантическую информацию.

Экологический банк цифровых картографических данных организуется в несколько информационных слоев: рельеф, гидросеть, населенные пункты, транспортные сети и т. д., что позволит получать цифровые картографические основы в различных вариантах.

Экологический банк данных должен обеспечивать:

- централизованное хранение и ведение картографических, тематических и экологических данных, а также эмпирических знаний об экологическом состоянии окружающей среды;
- формирование цифрового фонда картографических данных;
- цифровое кодирование метрической и семантической информации о картографических объектах;
- упорядочение картографических данных по масштабам, назначению, форматам представления;
- хранение картографических данных в векторном и растровом виде;
- ведение библиотеки картографических условных знаков;
- присвоение картографическим элементам атрибутов, которые должны извлекаться при помощи запросов;
- оперативный контроль данных;
- создание и программную реализацию единых технологических процессов сбора, накопления, поиска и выдачи информации в соответствии с потребностями различных категорий пользователей;
- поддержку данных в актуальном состоянии;
- визуализацию картографической информации;
- использование стандартов по точности и представлению данных, выдаче картографической продукции;
- независимость структур представления данных от прикладного программного обеспечения;
- возможность модификации структур внешнего представления;

- одновременное использование одних и тех же данных несколькими группами потребителей для различных целей;
- многопользовательский доступ к коллективно используемым ресурсам;
- обеспечение интерфейса с пользователем в буквенно-цифровом, текстовом, табличном или графическом виде посредством:
 - команд пользователя,
 - команд функциональных клавиш,
 - меню,
 - курсора типа «мышь»,
 - меню цифрователя,
 - определяемого пользователем меню;
- повышение интеграции различных баз данных с учетом словаря данных для хранения информации;
- обеспечение секретности данных, их защиту от случайного или преднамеренного разрушения;
- возможность восстановления данных при разрушениях.

Экологический банк данных для ГИС включает в себя информационные структуры, программное обеспечение, техническое обеспечение.

В состав информационных структур входят: атрибутивная база данных, база цифровых картографических данных, классификаторы, словари и системные справочники, массивы нормативно-справочной информации, библиотека картографических условных знаков, база знаний, база программ (библиотека расчетных программ).

Атрибутивная база данных предназначена для хранения характеристик объектов, являющихся предметом разработки ГИС.

Картографическая база данных используется для работы с картографическими изображениями. Картографическим элементам присваиваются атрибуты, которые извлекаются при помощи запросов.

Классификаторы используются для хранения мнемонических кодов объектов классификации, несущих смысловую нагрузку, и выполняют функции приведения неупорядоченной совокупности данных в одномерную их последовательность и ее представление в компактном формализованном и унифицированном виде, пригодном для использования в системе.

Словари и системные справочники устанавливают взаимно однозначное соответствие между отдельными понятиями и числовыми кодами, необходимыми для обработки и хранения данных.

Массивы нормативно-справочной информации должны фиксировать значения конкретной номенклатуры данных, используемые для контроля и при решении задач.

Библиотека картографических условных знаков является одним из способов нанесения на карту различной атрибутивной и картографической информации в виде принятых условных обозначений.

Картографические условные знаки делятся на:

- географические (триангуляционные пункты, лес и т. д.);
- тематические (виды промышленности, выращивание сельскохозяйственных культур и т. д.).

База знаний используется для хранения прагматических знаний, описывающих стереотипные ситуации, а также знаний о предметной области в виде конкретных фактов.

База знаний должна удовлетворять следующим требованиям:

- содержать информацию для оперативного анализа и контроля окружающей среды;
- содержать специальные знания, применение которых изменяет состояние задач, функционирующих в составе ГИС;
- упорядочивать используемые понятия по степени общности, которая должна быть представлена в виде иерархического дерева;
- содержать метаправила, т. е. знания о порядке применения известных знаний объектного уровня для приведения решаемой задачи в одно из ее возможных целевых состояний.

Программное обеспечение экологического банка данных должно поддерживать базы данных, операционную среду функционирования и средства разработки экспертных систем.

Атрибутивная база данных и база картографических данных должны обеспечивать контроль векторной и атрибутивной баз данных, достоверность данных, целостность и непротиворечивость данных, контролируемую избыточность данных, независимость данных от программ пользователей, требуемую скорость поиска, быструю обработку незапланированных запросов на данные, «открытость» по отношению к новым оперативным документам и проблемным задачам, создание интерфейсов с другими продуктами, системами и языками, используемыми в экологической базе данных, расширение и упрощение интерфейсов с конечным пользователем, возможность автоматической реорганизации хранимых данных, секретность данных, их защиту от случайного или преднамеренного разрушения, возможность восстановления данных при отказах и разрушениях.

Атрибутивная база данных должна удовлетворять следующим дополнительным требованиям: поддерживать реляционную модель данных, осуществлять контроль вводимой информации и наличие контрольных точек для продолжения процесса загрузки БД без повторного ввода данных при сбоях системы, обеспечивать ввод, обработку и выдачу информации по установленным формам, иметь гибкий механизм актуализации базы данных, обеспечивать быструю обработку незапланированных запросов на данные, поддерживать стандартный язык запросов к базам данных, осуществлять прямой доступ к БД посредством описательных характеристик, накапливать и обрабатывать описательную информацию, связанную с географическими признаками.

Картографическая база данных должна удовлетворять следующим специальным требованиям: поддерживать иерархическую модель данных; обеспечивать хранение пространственных данных идентифицировать необходимый участок

карты по географическому названию, территориальному делению, индексу карты; осуществлять масштабирование и управление окнами; осуществлять растр-векторное преобразование; представлять пространственные данные в виде векторных и растровых структур; использовать словари и классификаторы для кодирования/декодирования информации, ее поиска в БД и контроля; осуществлять сжатие и хранение цифровой информации; осуществлять пообъектный доступ при заданной комбинации поисковых признаков и/или местонахождению; содержать информацию о топологической структуре базы данных; осуществлять определение объектов, которые обладают заданной комбинацией признаков; осуществлять определение объектов, которые находятся внутри области поиска или вблизи заданного множества объектов; осуществлять определение объектов, которые находятся в определенном отношении к другому множеству объектов; разделять объект на подобъекты при одновременном разделении существующего отношения по местоположению на автономные отношения для всех нижестоящих объектов; объединять нескольких объектов с их отношениями по местоположению в один объект с соответствующим отношением; дополнять описания имеющихся объектов новыми признаками или уточнять значения имеющихся признаков; накапливать новые классы объектов с новыми признаками; изменять положения объектов; вносить, изменять или исключать связи между объектами; исключать объекты (признаки и геометрические характеристики, а также все связи, в которых участвовал исключаемый объект); осуществлять управление геометрическими элементами (точками, линиями, полигонами, растрами и т. д.) и атрибутами; обеспечивать связь с библиотекой прикладных программ, обрабатывающих в интерактивном режиме любые геометрические формы; осуществлять доступ к базе данных посредством пространственных характеристик; обеспечивать быстрый доступ к данным и оптимизацию хранения за счет внутренней кластеризации, наличия кеш-памяти, наличия в СУБД резидентных операций, географической кластеризации; иметь интерфейс с картографическими изображениями и с библиотекой картографических условных знаков.

Операционная среда должна обеспечивать работу рабочих и графических станций в сети.

Рабочие и графические станции в сети должны функционировать под управлением файл-сервера.

Файл-сервер должен обеспечивать совместное использование ресурсов компьютера, прикладных программ, данных; хранение, защиту и блокировку информации; множественный доступ к данным; обработку запросов пользователей.

Сервер баз данных должен иметь средства восстановления и поддержки целостности хранимых данных.

Экспертные системы должны обеспечивать: ввод данных о наблюдаемых объектах предметной области в виде таблиц эмпирических данных; форматирование таблиц эмпирических знаний аналогично формату используемой базы данных; информационный обмен с динамическими базами данных и с внешним программным окружением; взаимодействие с задачами пользователя и с базой программ; формирование

базы данных; формирование базы знаний; проведение консультаций; взаимодействие пользователей в режиме диалога с использованием форматов взаимодействия.

В настоящее время в РФ не существует стандарта, описывающего экологические условные знаки. Кроме этого, для цифровой картографии необходимо разработать машинно-ориентированные картографические условные знаки.

Цифровая карта может быть визуализирована в растровой (экран дисплея, принтер) и векторной форме (графопостроитель, векторный дисплей). При этом точное воспроизведение картографических условных знаков (КУЗ) в некоторых случаях невозможно или требует больших ресурсов ЭВМ и времени.

Например, на графопостроителе вычертить заливку невозможно. Заливка должна быть заменена штриховкой. Экран дисплея имеет стандартное количество пикселей на дюйм. Внемасштабный картографический условный знак часто имеет размер 1–2 мм. Поэтому точно воспроизвести его невозможно. Необходимо разработать упрощенные формы представления КУЗ.

Стандарт по цифровому представлению КУЗ должен содержать изображение объектов для каждого масштаба в растровом и векторном виде. Изображение должно сопровождаться описанием его характеристик.

При разработке стандартов следует учитывать следующие принципы:

- целостность (разрабатываемые стандарты не должны иметь внутренних противоречий);
- совместимость (все стандарты не должны противоречить друг другу);
- ортогональность (объекты стандартизации и их модули должны быть независимы друг от друга);
- полнота (разрабатываемые стандарты должны охватывать всю информацию, содержащуюся на картах).

Требования к стандартному обменному формату: полнота охвата информации, имеющейся на картах; возможность интеграции в международную информационную систему; непротиворечивость; ортогональность; допустимость различных типов кодирования.

Разработка этих стандартов позволит: обеспечить совместимость различных экологических геоинформационных систем (ГИС), облегчить освоение программного обеспечения формирования ЦК и ГИС, определить направления развития ГИС путем создания методических указаний по формированию и эксплуатации ГИС.

6.3.3. Применение картографической информации в строительстве

Геоинформационные системы интегрируются с другими отраслями науки и техники и позволяют представлять результаты расчетов, произведенных на ЭВМ, в графической форме.

Так, например, ГИС можно применять для автоматического проектирования схем генпланов металлургических заводов на стадии технико-экономического обоснования. Программный комплекс позволяет производить многовариантное формирование, оценку и сравнение вариантов компоновочных решений.

Формирование вариантов производится методом случайного поиска. Для оценки вариантов используются две основные оценочные функции: функция связи, заданная через приведенную стоимость длины транспортных коммуникаций для каждой связи, и функция компактности, определяемая как площадь завода по абрису.

Реальные условия проектирования определяют экстремальные значения этих функций; на основе относительного отклонения построена единая оценочная функция, позволяющая учитывать разнохарактерные показатели.

На начальной стадии проектирования ЭВМ используется лишь как средство усиления творческой способности проектировщика; сам процесс принятия решения – процесс творческий, не поддающийся формализации, поэтому при построении автоматизированного процесса формирования проектных решений предусмотрена возможность промежуточной корректировки и окончательного выбора вариантов проектировщиком.

Программа компоновки выдает несколько вариантов схем генплана. Вопрос окончательного выбора схемы производится проектировщиком. На стадии корректировки машинных решений вариант дорабатывается с учетом требований функционально-технического характера, не поддающихся формализации, и с учетом реального трассирования.

Корректировка исходных данных производится непосредственно с экрана алфавитно-цифрового дисплея. Таким образом, в программе осуществлен опосредствованный диалог проектировщика с ЭВМ. Проектировщик вводит исходные данные по размещению объекта и территории. Данные по территории кодируются при помощи цифрователя с карт. ЭВМ просчитывает и выдает промежуточные результаты. Проектировщик производит коррекцию исходных данных и делает выбор окончательного решения. ЭВМ выводит окончательный вариант на графопостроитель.

Схема компоновки оформлена в соответствии с ЕСКД. Имеет рамку и штамп, снабжена дополнительной числовой информацией; координаты точек привязки элементов объекта, перечень зданий и сооружений, технико-экономические показатели.

Масштаб компоновочной схемы 1 : 20 000. Прямоугольниками обозначены здания и сооружения. Прямоугольники помечены порядковыми номерами. На компоновочную схему нанесен рельеф местности в виде карт изолиний. Завод размещается на равнинной части территории между двумя заливами и возвышенностью. Для проведения изолиний используется комплекс программ ИЗО.

Исходные данные о рельефе местности кодируются с карт или планов районов. Кодирование данных производится при помощи устройства ввода графической информации. С постоянным шагом снимаются координаты изолиний. Массивы координат заносятся в базу данных. К этим координатам добавляются особые точки поверхности.

В область вычерчивания компоновочной схемы вводится или создается по масштабам координат координатная сеть. Определяются значения высот в узлах координатной сети. Определение значений высот производится по опорным точкам путем перенесения значений высот по касательной плоскости со взвешиванием.

По значениям высот в узлах координатной сети строится карта изолиний. На карту выводятся также некоторые опорные точки рельефа. Цифровая модель рельефа местности, заданная в виде значений высот в узлах координатной сети, может быть использована далее для подсчета капитальных затрат на освоение территории, для подсчета объема земляных работ и вычерчивания карт с рельефом, измененным в процессе строительства.

Карта рельефа на схеме способствует правильному проведению корректировочных работ и выбору окончательного варианта.

При проектировании промышленных комплексов производится вертикальная планировка рельефа местности. Определяются вертикальные отметки всех сооружений и коммуникаций, имеющих на генеральном плане. Для автоматизации процесса вертикальной планировки была создана программа VOPL. В программе широко используются алгоритмы, методы и программное обеспечение формирования и графического представления цифровых моделей рельефа местности.

Программа целенаправленно перебирает допустимые варианты планировки, считая для каждого варианта стоимость земляных работ.

Выбирается планировка, для которой эта стоимость минимальна. На графопостроителе вычерчивается картограмма земляных работ.

Входной информацией о рельефе местности являются замеры высот рельефа, полученные в результате тахеометрической съемки; или отметки высот в узлах сетки генплана, а также категория грунта и уровень грунтовых вод. В программу в качестве исходных данных также вводятся: расположение на генплане зон (т. е. участков, планируемых под плоскость); направление стока воды для каждой зоны; расположение зданий и коммуникаций; сведения о допустимых уклонах дорог и допустимых откосах; экономические характеристики (стоимость разработки грунта и т. п.).

В результате работы программы определяется оптимальный по стоимости земляных работ вариант планировки. Выходными данными программы являются: высота и угол наклона каждой зоны; отметки всех дорог; объемы выемки и насыпи земли, стоимость земляных работ для найденного программой варианта планировки.

Графическим результатом программы вертикальной планировки является генеральный план промышленного комплекса (см. рис. 27). На генеральном плане имеется квадратная координатная сеть со стороной H . Вводится прямоугольная система координат. Начало координат совпадает с одним из углов сетки, а направления совпадают с направлениями прямых, образующих сетку. Сетка делит генеральный план на NX вертикальных и NY горизонтальных полос. Общее количество узлов равно $(NX + 1) * (NY + 1)$. Координаты левого нижнего узла равны (H, H) , правого верхнего – $((NX + 1) * H; (NY + 1) * H)$.

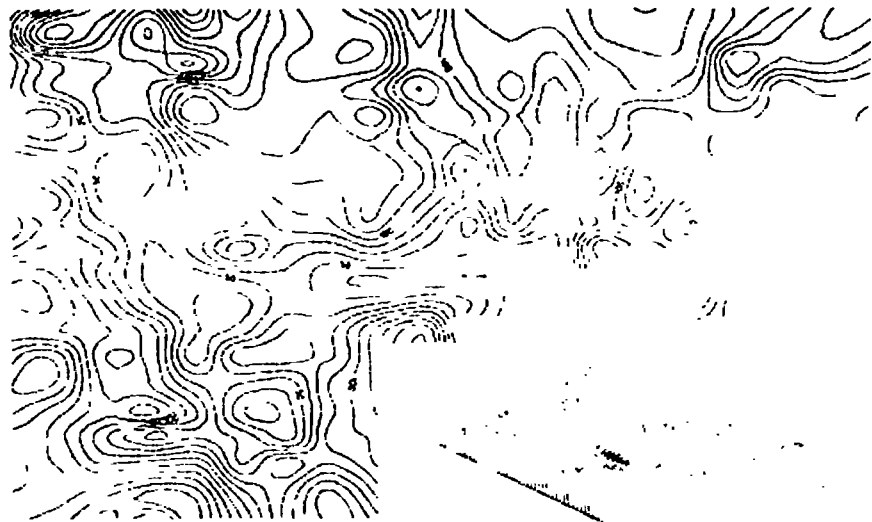
Каждому узлу сети поставлена в соответствие красная и черная отметка рельефа, т. е. высота рельефа местности до вертикальной планировки и после нее.

На плане имеется несколько зон, каждая из которых имеет форму многоугольника без самопересечений. Уравнение i -й зоны имеет вид:

$$Z = D(i) * CD(i) * X + D(i) * SD(i) * Y + C(i),$$

где в массиве (NP) элемент $C(i)$ есть высота продолжения i -й зоны в точке $(0, 0)$; в массивах $D(NP)$, $CD(NP)$, $SD(NP)$ -элементы, $CD(i)$ и $SD(i)$ - соответственно косинус и синус угла проекции градиента i -й зоны на плоскость X, Y .

ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ



Карта изолиний вычерчивается по значениям высот в произвольно расположенных точках. На основе расчета в ЗВМ получена проекция поверхности.

По данным ЦММ в памяти ЗВМ выполняется вертикальная планировка местности для будущей застройки.

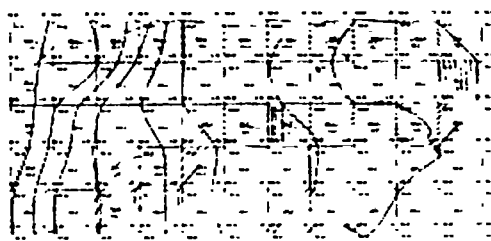


Рис. 27. Цифровая модель рельефа местности

Все сооружения, возводимые в пределах зон называются зданиями. Каждое здание имеет форму многоугольника (не обязательно выпуклого) без самопересечений, углы которого пронумерованы по порядку обхода периметра здания. Начало отсчета и направление отсчета безразличны. Каждое здание находится строго внутри какой-либо одной зоны.

На генплане имеется сеть дорог. Все дороги, имеющиеся на генплане, представляют собой совокупность прямолинейных отрезков (звеньев), концы которых называются перекрестками. При этом перекрестки бывают двух видов: свободные – те, отметка которых может варьироваться, и закрепленные – те, отметки которых жестко связаны с отметками зданий. Как правило, последние суть вводы дорог в здания.

Для проведения расчетов по вертикальной планировке местности по высотам рельефа в произвольно расположенных точках определяются значения высот в узлах координатной сети. Определение значений высот производится линейно-статистическим методом. По этим данным вычерчиваются горизонталы рельефа до вертикальной планировки. Эти же данные используются для работы программы вертикальной планировки.

Программа определяет оптимальный вариант вертикальной планировки, стоимость земляных работ для выбранного варианта и вычисляет значения высот в узлах координатной сети спланированного рельефа.

На генплане вычерчиваются рассчитанные значения высот и горизонталы рельефа после планировки. При вычерчивании горизонталей рельефа до планировки производится интерполяция горизонталей внутри ячеек сети. Интерполяция производится с использованием сплайна с натяжением. Коэффициент натяжения равен 1. Горизонталы рельефа после планировки производятся без интерполяции, так как горизонталы рельефа спланированной местности представляют собой не кривые, а полигональные линии. Для проведения горизонталей без интерполяции коэффициент натяжения устанавливается равным 50.

6.3.4. Использование геоинформационного картографирования для создания тематических карт

При создании тематических карт рассматриваются функции распределения населения, урбанизации, производственных и энергетических ресурсов по областям и промышленным районам. Особенно важно иметь эти данные на стадии выдачи контрольных цифр министерствам и ведомствам, а также на стадии разработки основных направлений плана.

Функции распределения трудовых и производственных ресурсов содержатся в виде таблиц в различных статистических сборниках. Анализ их в таком виде является весьма трудоемким процессом. При анализе необходимо учитывать динамику функций распределения, что ведет к усложнению этого процесса. Применение геоинформационного картографирования и методов изображения функций распределения трудовых и производственных ресурсов дает простое и наглядное решение задачи территориального планирования.

Функции распределения задаются дискретно. Каждому району ставится в соответствие среднее значение функции в этом районе. Доопределить значения функции на всей территории можно одним из двух способов.

1. Предполагается, что значение функции в рассматриваемом районе постоянно, и только при переходе через границу оно меняется скачком на другое постоянное значение.
2. Предполагается, что функция на всей области непрерывна и значение ее в центре равно среднему значению на области. Полученную первым способом функцию будем называть разрывной, вторым – непрерывной.

Разрывную функцию можно изображать в виде трехмерных гистограмм, помещая в центры областей диаграммные знаки или заполняя районы площадными

знаками. Диаграммные знаки могут иметь форму частично заштрихованных окружностей, прямоугольников, гистограмм. Под площадными знаками понимаются условные обозначения, нанесенные равномерно на площади районов территории.

Непрерывные функции могут быть графически изображены в виде карт изолиний, проекций функций на плоскость, стереопар поверхностей.

Изготовление карт распределения ресурсов делится на две части: создание основы, постоянной для всех карт, и нанесение на основу функциональных значений. Основой является карта территории с районным разбиением (например, карта РФ с разбиением на административные районы). Функциональные значения могут наноситься как на стандартную основу, полученную типографским способом, так и на карту, вычерченную при помощи графопостроителя.

Статистические данные о трудовых и производственных ресурсах должны содержаться в специальных файлах базы данных. При построении карты основа вычерчивается автоматически без дополнительной обработки. Из отдельных ребер составляется граница каждого района. Эта граница является границей экрана для специального алгоритма экранирования. Каждому району ставится в соответствие тип площадного знака.

Непрерывные функции получаются путем аппроксимации дискретных значений функций, заданных в центральных точках районов, на всю область. В область определения функции вводится координатная сеть. Определяются значения поверхности в узлах этой сети. Значения высот в узлах координатной сети определяются по исходным точкам путем перенесения значения высот по касательной плоскости с взвешиванием.

Тематические данные, например значения распределения трудовых и производственных ресурсов, должны содержаться в базе данных. Систематически производится их обновление.

Карты с нанесенной на них тематической информацией могут выводиться на экран дисплея. Это увеличивает оперативность подачи информации. Для установления связи между отдельными функциональными значениями можно выводить несколько функциональных значений на одной карте.

Определение состава грунта производится в процессе бурения поверхности земли. В результате бурения определяется мощность покровной породы, и вычерчиваются структурные геологические карты.

Составление геологических структурных карт в изолиниях представляет собой довольно сложную и кропотливую работу, требующую больших трудозатрат при ручном изготовлении. Между тем такие карты необходимы при разнообразных теоретических и практических горнопромышленных исследованиях. Решение одной проблемы или темы иногда требует вычерчивания нескольких таких карт с большой тщательностью и в различных масштабах, на что уходит очень много времени. В связи с этим возник вопрос о возможности применения машинного способа изготовления таких карт, чрезвычайно необходимых в геологической работе.

В качестве исходных данных было взято высотное расположение фундамента, полученного на основе бурения. Задачей работы, выбранной в качестве примера, являлось построение до четвертичного фундамента некоторого изученного участка долины р. Волги. Топографическая поверхность этого района представляет собой равнину.

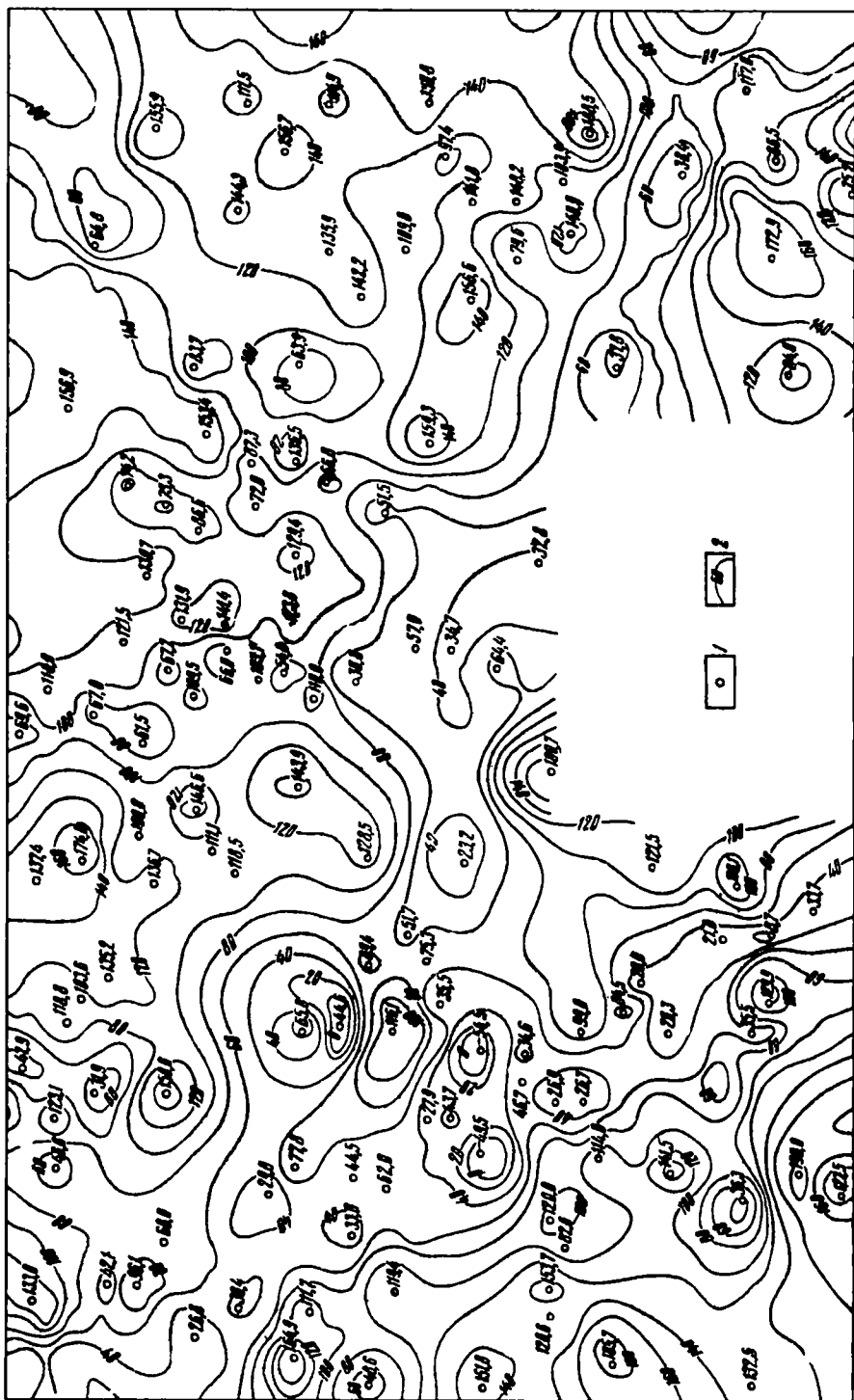


Рис. 28. Структурная геологическая карта, построенная автоматизированным способом

Для ввода данных в ЭВМ используется устройство ввода графической информации. Вводятся координаты размещения каждой точки и в виде сопутствующей числовой информации значение высоты поверхности в данной точке. Эти данные заносятся в память ЭВМ для последующей обработки.

Таким образом, рельеф, как функциональная зависимость от двух переменных, задается произвольно расположенными точками, лежащими на его поверхности. В процессе обработки этих данных в ЭВМ в области определения функции вводится регулярная координатная сеть и определяются значения высот поверхности в узлах этой сети. Значения высот в узлах координатной сети вычисляются по заданным точкам путем перенесения значений высот по касательной плоскости со взвешиванием.

Значения высот в узлах координатной сети в последующем расчете используются для построения карт изолиний. Расчет изолиний производится при помощи ЭВМ. Карта изолиний выводится на графопостроитель (см. рис. 29).

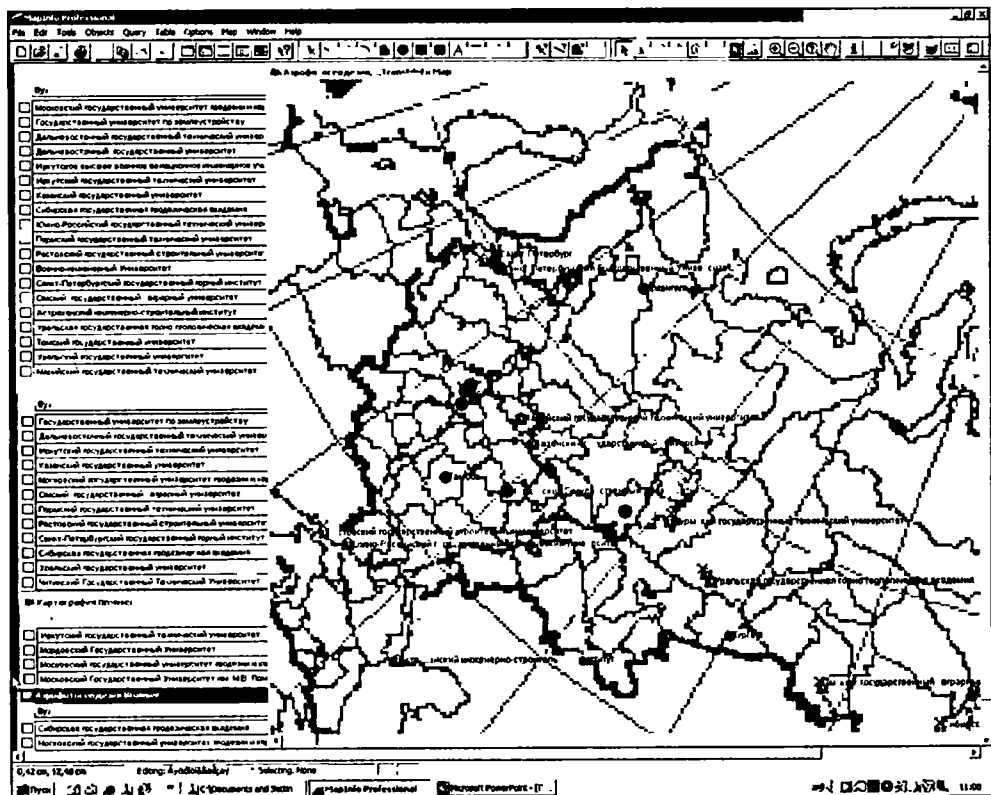


Рис. 29. Электронная карта «Геодезические учебные заведения РФ»

Значения высот рельефа получены как разность высот, отмеченных по скважинам, и мощности покровных отложений в местах бурения скважин. Для сглаживания изолиний применяется метод вычисления сплайна с натяжением. Этот метод

позволяет варьировать гладкость линий и устраняет возможное пересечение изолиний. Область, в которой поверхность не определена, экранируется, и изолинии на ней не вычерчиваются.

По значениям высот в узлах координатной сети может быть построено перспективное изображение рельефа, и даже стереопары поверхности. Рассматривая стереопару через стереоскоп, можно получить представление о пространственном расположении элементов рельефа так, как они были бы видны с «птичьего полета».

6.3.5. Телекоммуникационные системы в дистанционном геоинформационном образовании

Массовое распространение интернет-технологий не могло обойти географические информационные системы. Одно из основных достоинств информационных систем, строящихся на базе интернет-технологий, это отсутствие специализированной клиентской части системы. Пользователю не требуется ничего, кроме программы просмотра для Интернета (браузера), которая входит в состав практически всех операционных систем. Браузеры воспроизводят HTML-файлы, состоящие из текста, таблиц и растровых изображений. Кроме этого, страница может содержать некоторую программу на языке Java, которая может выполнить некоторые действия на компьютере пользователя без обращения к Web-серверу. Другой способ получения геоданных – установка на сервере специальной программы, которая отвечает на запросы пользователя.

Основная часть геоданных, хранящихся в Интернете, представляет собой различные электронные карты и атласы: обзорные справочные карты, карты погоды и атмосферных явлений, карты политических событий, туристические карты.

Для популяризации учебных геоинформационных систем была создана и помещена в Интернет страница «Учебные геоинформационные системы», которая состоит из нескольких вспомогательных страниц, связанных гиперссылками. На основной странице размещаются ссылки на концепцию создания и использования учебных геоинформационных систем (ГИС), обзор работ по этому направлению со списком литературы, список образовательных учреждений, где можно получить образование по этому предмету, и учебные программы. Предоставлена возможность связаться с автором страницы по электронному адресу. На основной странице сделаны гиперссылки на вспомогательные страницы, каждая из которых содержит информацию по соответствующему предмету. Вспомогательная страница содержит методику преподавания учебных предметов на основе созданных ГИС-проектов. Созданная страница постоянно обновляется и дополняется новыми ГИС-проектами. Страницу и созданные ГИС-проекты можно издать в виде отдельного компакт-диска.

Страничка «Учебные геоинформационные системы» может быть использована всеми учебными заведениями, которые имеют доступ к Интернет. Поскольку предусмотрена возможность дублирования странички на английском языке, ее могут использовать учащиеся и учителя всего мира.

Страница написана на языке HTML. По мере накопления материала и присоединения к странице ГИС-проектов, которые требуют интерактивной работы с картами, будут добавлены странички, написанные на языке Java.

Страница имеет перекрестные ссылки с другими узлами, расположенными в РФ и за рубежом. На страничке помещена справочная ГИС «Геодезические учебные заведения РФ». Для ее формирования была избрана ГИС МАПИНФО. Эта ГИС-программа позволяет создавать банки данных, привязанные к картам. В качестве картографической основы была избрана карта РФ. Информационной составляющей стали учебные заведения РФ, осуществляющие подготовку студентов в областях геодезии, картографии, аэрофотогеодезии и геоинформатики.

6.4. Интеграция ГИС с другими автоматизированными информационными системами

По мере развития геоинформатики и постоянного увеличения управленческих запросов к геопространственным данным возникает необходимость развития ГИС-технологий в направлении их интеграции и интеллектуальности.

Интеграция ГИС ведется по следующим основным путям.

1. Интегрирование ГИС и системы ДЗ (дистанционного зондирования).

Основным методом для сбора и обновления данных в ГИС является дистанционное зондирование. ГИС используется только для сбора, обработки и дальнейшей передачи для других применений данных. Покажем варианты возможного интегрирования и направление развития этой интеграции (см. рис. 30).

2. Интегрирование ГИС и GPS.

GPS – это система глобального позиционирования. С помощью приемника GPS можно определить трехмерные координаты любой точки Земли. Интеграция ГИС и GPS позволяет осуществлять автопилотирование, криминальное исследование, автоматическое контролирование и управление, обновление карт в реальном времени и т. д.

3. Интегрирование пространственных данных и атрибутивных данных.

Покажем варианты возможного интегрирования и направление развития этой интеграции (см. рис. 31).

Расширение интеллектуальных возможностей ГИС возможно за счет:

1. Включения в ГИС-технологии различных математических моделей и баз данных.

Включение различных прикладных математических моделей в ГИС приводит ГИС-инструмент в прикладную ГИС, которая имеет большую пользу в реальном применении. Включение в ГИС различных математических моделей и создание базы моделей является одним из основных направлений развития геоинформационной системы.

Прикладные модели по их пространственной характеристике классифицируются на следующие виды:

- непространственная модель;
- пространственная модель (одномерная, двумерная и трехмерная).

По временной характеристике:

- статическая модель;
- динамическая модель.

По закономерности между объектами:

- модель подобий;
- логическая модель;
- статистическая модель;
- физическая модель и т. д.

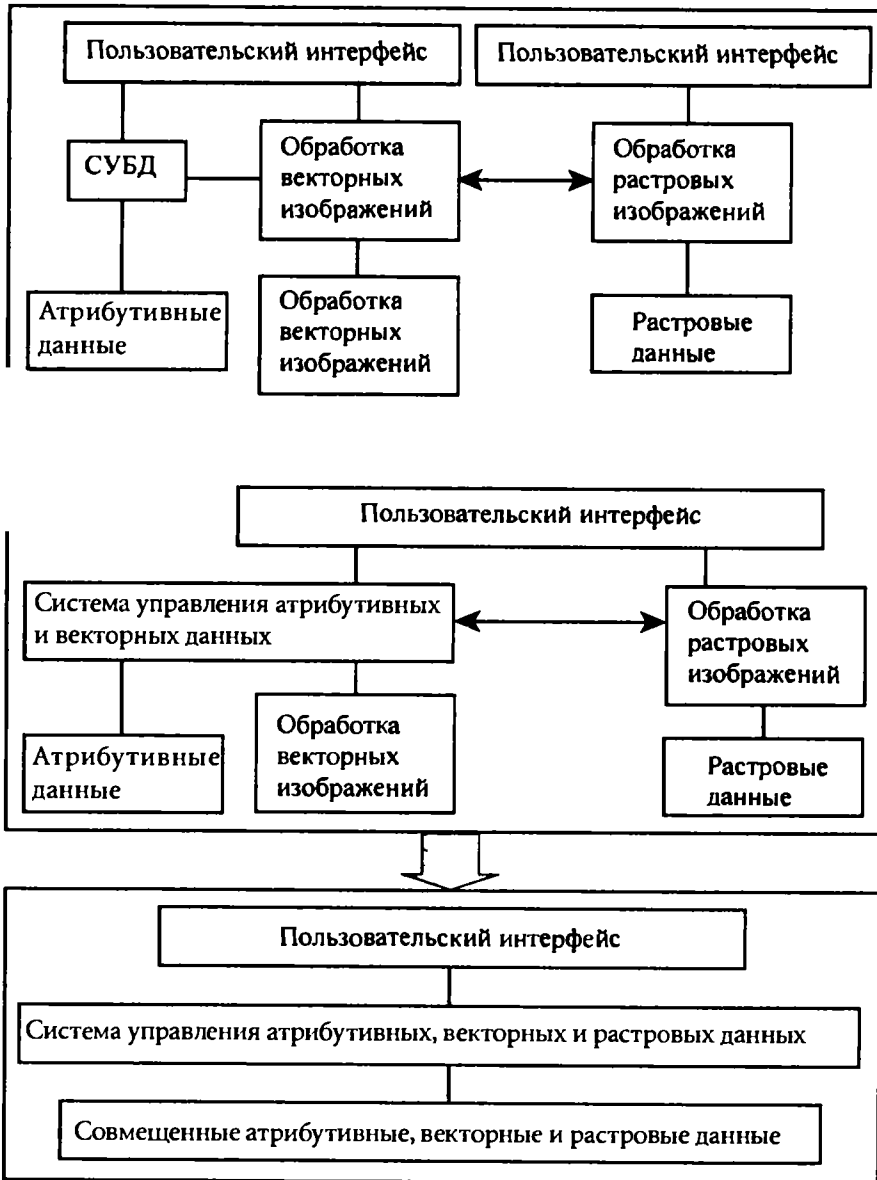


Рис. 30. Интегрирование ГИС и систем ДЗ

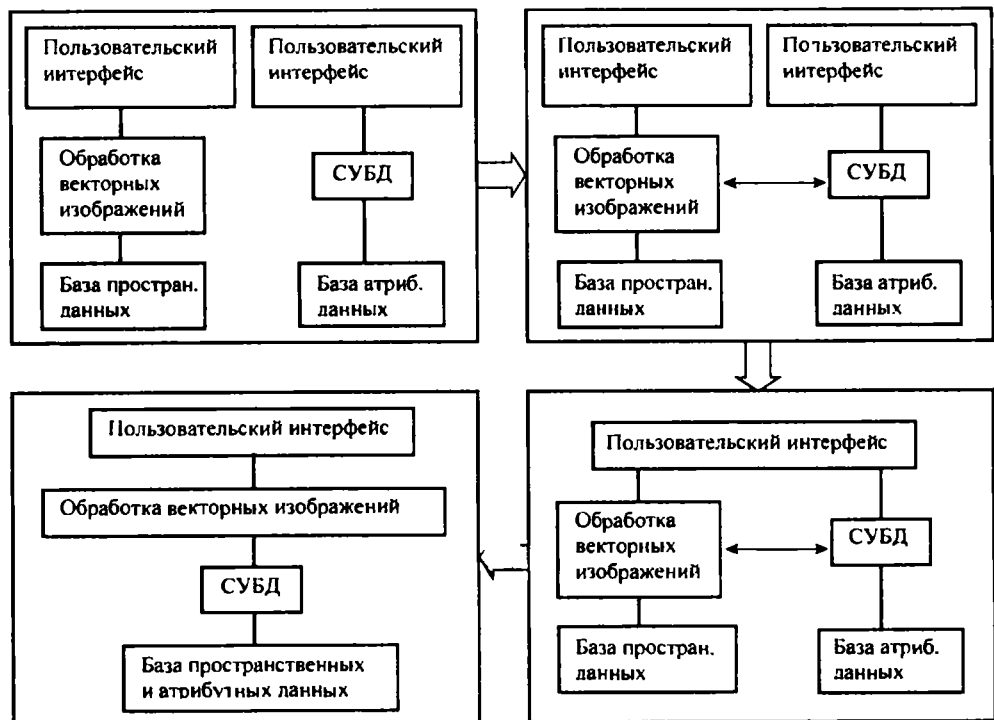


Рис. 31. Интегрирование пространственных и атрибутивных данных

Математическая модель по поддержке принятия решений требуется почти для всех областей применения ГИС.

Известен ряд математических алгоритмов для построения моделей по поддержке принятия решений:

- модель, основанная на решении задачи линейного программирования и симплекс-методе;
- модель, основанная на решении транспортной задачи;
- модель, основанная на теории игр;
- модель, основанная на анализе нечетких множеств;
- модель сетевой оптимизации.

В простейшем случае процессы принятия решений в информационных системах основаны на выборе одной из нескольких возможных альтернатив. Для этой цели создают модель процесса выбора как совокупность альтернатив. Такой упрощенный подход позволяет использовать дихотомические переменные и применять методы формальной логики для анализа возможных вариантов принятия решений и проверки правильности принятия решений.

Под принятием решений в геоинформационных технологиях мы будем понимать особый вид эвристического моделирования, направленный на выбор лучшей из имеющихся альтернатив при возможности получения уникального решения или наиболее вероятной гипотезы при вероятностных характеристиках данных.

Можно выделить три качественно отличающихся метода поддержки принятия решений в геоинформационных технологиях.

Наиболее сложным методом принятия решений является *вероятностный*, основанный на анализе набора, вероятность которых изменяется в зависимости от наборов исходных данных и условий принятия решений. Этот метод требует комплексной аналитической обработки первичных данных, унификации и приведения их к единому виду для использования в целевой функции. Он позволяет получать набор вероятностных оценок от принятия вариантов решений и их последующего анализа.

Более простым является аналитический метод *получения уникального рационального решения* при наборе сложных, но достоверных параметров. Этот метод требует также использования вычислительных и статистических процедур, но позволяет принимать решения на основе методов формальной логики. Этот метод реализуется как аналитически, так и аппаратно.

Наиболее простым является регламентный, который позволяет принимать решения в стандартных ситуациях, описанных в нормативных документах, на основе инструкций, в которых описаны эти стандартные ситуации и предписания действий для всех определенных ситуаций. Такой метод практически не требует существенной аналитической обработки данных. Он требует их интерпретации и классификации.

Для принятия решений должны присутствовать (должны быть формализованы или четко сформулированы) следующие элементы.

- Набор исходных данных, на основе которых может быть принято решение или получен результат для поддержки принятия решений.
- Проблема, требующая разрешения (представленная в виде сложной системы, математической или технологической модели).
- Человеко-машинная система или интеллектуальная система, принимающая решение.
- Несколько альтернатив или вероятностных гипотез, из которых осуществляется выбор.
- Целевая функция или критерии выбора.

Таким образом, принятие решения в общем случае основано на построении модели (или системы) процесса принятия решений с максимально возможной детализацией данных и условий для получения схемы, близкой к даталогической.

2. Включения в ГИС экспертной системы.

Кроме сбора и обработки пространственных и атрибутивных данных ГИС должна интеллектуально анализировать и использовать эти данные, отвечать на все возможные вопросы пользователей и давать рекомендацию или решение. Схема интеграции ГИС и экспертной системы выглядит так (см. рис. 32):

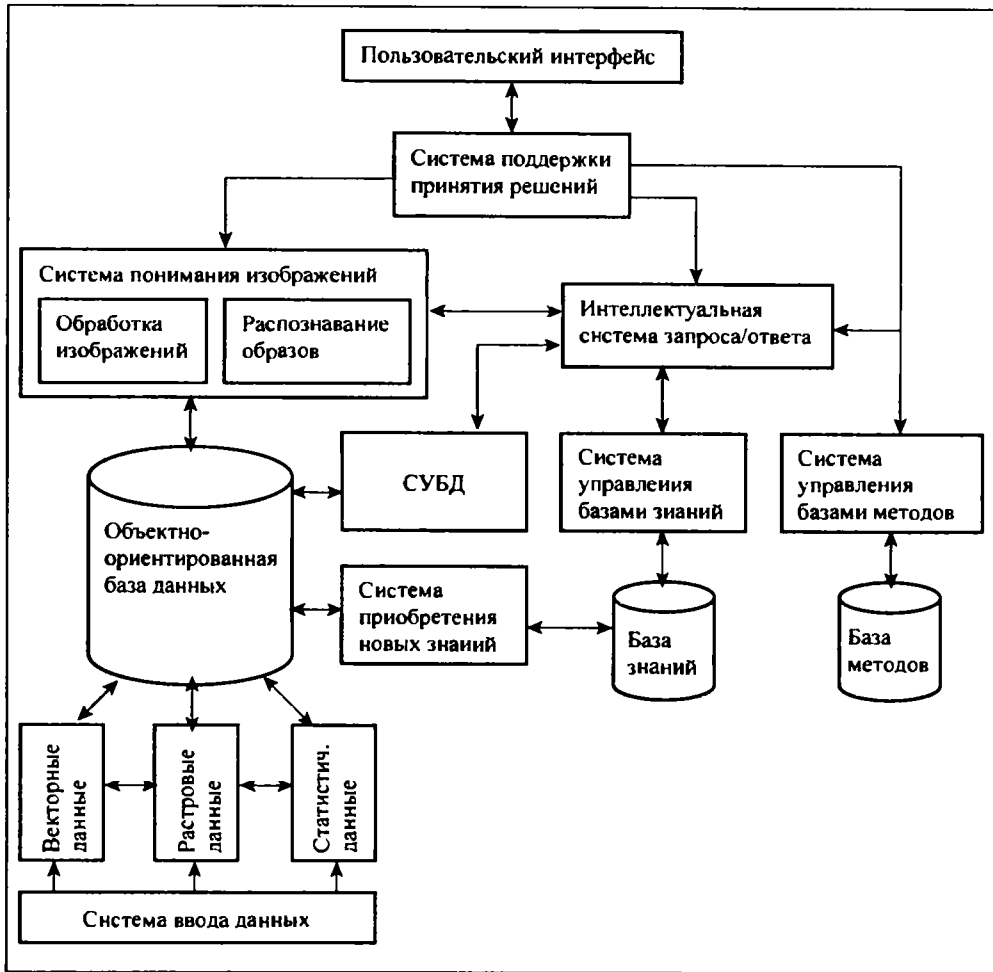


Рис. 32. Интегрирование пространственных и атрибутивных данных

Контрольные вопросы

1. Дайте сравнительный анализ программно-технических средств ГИС.
2. В чем заключается метод оценки эффективности ГИС?
3. Приведите примеры использования ГИС в земельном кадастре, экологии, строительстве.
4. Опишите технологию создания тематических карт.
5. Каковы перспективы интегрированного развития ГИС и Интернета?
6. С какими информационными системами может интегрироваться ГИС?

ГЛАВА 7

Стандартизация и защита информации в ГИС

7.1. Основные стандарты в области геоинформатики и сертификация ЦК

7.1.1. Основные стандарты в картографии

Разработка нормативной документации в области картографии и цифровой картографии велась на всем протяжении создания карт и цифровых карт. В картографии действовали и продолжают действовать следующие документы.

1. Руководства по картографическим и картоиздательским работам. РИО ВТС.
2. Руководящие технические материалы по созданию учебных общегеографических карт мира, материков, отдельных государств, СССР и крупных территорий СССР для средней школы. ЦНИИГАиК.
3. Руководящий технический материал по созданию учебных политических карт мира, материков и политико-административных карт СССР для средней школы. ЦНИИГАиК.
4. Основные положения по созданию и обновлению топографических карт масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000.
5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5 000, 1 : 20 000, 1 : 1 000, 1 : 500.
6. Классификатор топографической информации (информация, отображаемая на картах и планах масштабов 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000, 1 : 10 000).

Основные понятия в области картографии закрепил ГОСТ 21667-76 Картография. Термины и определения. С развитием цифровой картографии появилась необходимость в определении основных терминов в этой области, что и осуществил ГОСТ 28441-90 Картография цифровая. Термины и определения. Развитием этой работы явился ГОСТ Р 50828-95 Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования.

Заметной вехой на пути развития отечественной геоинформатики является разработка Госгисцентром пакета ГОСТ, устанавливающего общие требования к информационному обеспечению (формату, классификатору, правилам цифрового описания объектов) цифровых топографических карт, а также к их качеству. В основу разработки были положены три принципа:

- цифровая карта не обязана содержать что-либо, кроме информации об объектах местности;
- формат, правила цифрового описания и классификатор ЦК должны быть максимально независимы друг от друга;
- стандарты должны быть направлены не на установление единого господствующего формата, классификатора и т. п., а на обеспечение согласованности и возможности простого взаимного преобразования многих различных форматов, используемых в разных системах.

При определении содержания и состава комплекса вышеуказанной документации коллектив разработчиков исходил из следующих положений.

1. Основной стандартизированной продукцией предприятий Роскартографии были и остаются топографические карты масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000, создаваемые с учетом требований, которые изложены в «Основных положениях». Представлялось логичным при развертывании нового производства сохранить преемственность основных показателей цифровой картографической продукции с параметрами вышеуказанной. Что касается принципиальных отличий цифровой картографической информации от традиционной, то они стали главными объектами стандартизации.
2. Принимая во внимание указанные положения, в качестве основной цифровой картографической продукции, создаваемой предприятиями Роскартографии, были определены цифровые топографические карты (ЦТК).
3. С учетом того, что цифровые топографические карты рассматриваются как аналог топографических карт, правила, в соответствии с которыми формируется содержание ЦТК и осуществляется процесс их изготовления, аналогичны тем, что действуют в традиционном картографическом производстве. Нормативно-техническим актом (НТА), который закрепляет эти правила и устанавливает новые требования, связанные со спецификой продукции, является ГОСТ Р 51605-2000 Карты цифровые топографические. Общие требования.

7.1.2. Общие требования к ГОСТ по цифровым топографическим картам

Разработка ГОСТ Р 51605-2000 Карты цифровые топографические. Общие требования основывались на следующих принципах.

1. Необходимость ограничения круга стандартизируемой цифровой картографической продукции цифровыми топографическими картами (ЦТК). Создание цифровых карт производится на основе масштабного ряда, разграфки, картографической проекции, системы координат и системы высот топографических карт.
2. ЦТК предназначаются для использования в геоинформационных системах и автоматизированных информационных системах создания и ведения кадастров различного назначения. Содержание ЦТК предусматривает использование их в автоматизированных технологиях создания традиционной картографической продукции.
3. Информационное обеспечение, на основе которого создаются, обновляются и используются цифровые топографические карты, включает в себя обменный формат цифровой топографической карты, классификатор цифровой

картографической информации и правила цифрового описания картографической информации.

4. В соответствии с современным состоянием цифрового картографического производства в качестве основного метода создания и обновления ЦТК определена автоматизированная обработка результатов растрового сканирования картографических материалов. Перспективными являются методы автоматизированной стереотопографической съемки и цифровой фотограмметрии. При создании ЦТК масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000 наряду с вышеуказанными способами могут использоваться материалы наземной автоматизированной топографической съемки.
5. В процессе создания ЦТК более мелких масштабов рекомендуется использование, при их наличии, ЦТК более крупных масштабов.
6. Аналогично традиционным топографическим картам обновление ЦТК выполняется с целью приведения их содержания в соответствие с современным состоянием местности и осуществляется:
 - оперативно – по мере поступления актуальных картографических материалов;
 - периодически – по материалам, получаемым в результате специально принимаемых съемок.

Краткое содержание ГОСТ.

1. ГОСТ Карты цифровые топографические. Устанавливает требования к внутреннему и внешнему согласованию содержания ЦТК. Внутреннее согласование предусматривает общее описание или абсолютное дублирование метрики смежных объектов на участках их примыкания друг к другу. К внешнему отнесены требования согласования смежных номенклатурных листов ЦТК и номенклатурных листов смежных масштабов. В первом случае требуется, чтобы метрика и семантика объектов смежных листов были сведены по всем выходящим на общую рамку объектам. Главное требование согласования листов смежных масштабов предусматривает тождественность подписей собственных названий, отметок высот, качественных и количественных характеристик.
2. ГОСТ устанавливает единство требований, которые предъявляются к ЦТК нормативно-техническими актами Роскартографии независимо от методов, технологий и технических средств, используемых при создании и обновлении ЦТК.
3. Особое внимание при разработке нормативно-технического документа уделено терминам и определениям.

7.1.3. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации

Вторым ГОСТ этой серии стал ГОСТ Р 51606-2000 Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования.

Система классификации и кодирования объектов цифровых топографических карт – свод правил и конкретных указаний, определяющих порядок классифика-

ции и кодирования объектов цифровых топографических карт, а также признаков указанных объектов.

В ГОСТ выделены три основных раздела, содержащих требования к:

- системе классификации;
- системе кодирования;
- классификаторам объектов ЦТК.

Требования к классификации предусматривают, что система классификации объектов ЦТК должна охватывать все подлежащие классификации объекты ЦТК и допускать создание единого (общего) классификатора для ЦТК масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000, 1 : 500 000 и 1 : 1 000 000.

Разработка системы классификации объектов ЦТК должна выполняться с учетом принципов, которые использовались при формировании содержания топографических карт, включая их математическую основу, условные знаки и справочную информацию (зарамочное оформление).

Система классификации объектов ЦТК и созданные в соответствии с ней классификаторы должны однозначно определять принадлежность всех подлежащих классификации объектов ЦТК к классификационным группировкам. При распределении объектов ЦТК на классификационные группировки целесообразно использовать иерархический метод классификации.

Положения ГОСТ предусматривают, что система классификации является наиболее динамичной, т. е. изменяемой и пополняемой частью информационного обеспечения. Поэтому, определяя общие правила классификации, она должна предоставлять максимум свободы процессу создания на ее основе частных систем. С учетом вышеизложенного ГОСТ предусматривает следующие требования к системе:

- однозначно определять принадлежность всех подлежащих классификации объектов ЦТК к классификационным группировкам;
- позволять использование ее для решения как картографических, так и пользовательских задач;
- не быть ориентированной на решение одной задачи (группы задач) в ущерб другим задачам;
- допускать включение новых объектов или исключение существующих без изменения классификации других объектов, а также включение новых характеристик в содержание уже классифицированных объектов ЦТК;
- обеспечивать преемственность вновь создаваемых классификаторов по отношению к ранее действовавшим в отрасли.

ГОСТ определяет, что классификации подлежат объекты цифровой топографической карты, а также переменные признаки (характеристики) этих объектов. Объекты цифровой топографической карты, которые отображают особенности топографической карты, обусловленные графическим представлением картографической информации, могут включаться в систему классификации в виде отдельных классификационных группировок.

Классификационные группировки могут быть вложенными, т. е. целиком входить одна в другую. Пересечение (неполное вхождение) группировок недопустимо.

Каждый классифицируемый объект ЦТК должен входить только в одну классификационную группировку нижнего уровня иерархии.

Объекты ЦТК классифицируются в соответствии с присущими им признаками, которые делятся на основные, однозначно определяющие классификационную группировку, в которую входит данный объект ЦТК, и переменные, не влияющие на его отнесение к классификационным группировкам.

Нижняя по иерархии классификационная группировка должна содержать объекты ЦТК с одним и тем же набором основных признаков при наличии определенного (возможно, пустого) комплекса переменных характеристик. Число переменных характеристик в разных наборах и их смысловое значение могут быть различными в зависимости от принадлежности объекта ЦТК к той или иной группировке. Характеристики объектов подразделяются на обязательные (наличие которых у объекта обязательно) и на необязательные, т. е. включаемые в состав только отдельных объектов из одной и той же классификационной группировки.

При определении состава характеристик следует минимизировать их число за счет исключения характеристик, значения которых могут быть получены путем автоматических вычислений на основе значений других характеристик или метрической информации объектов ЦТК.

С учетом того, что те или иные характеристики объектов ЦТК могут иметь множество значений, система классификации должна включать:

- диапазон значений и единицы измерений – для количественных характеристик;
- множество допустимых значений – для качественных характеристик.

В общий перечень использованных в классификаторе дополнительных признаков (характеристик) должны быть включены данные о множествах возможных значений качественных характеристик, а также единицы измерения и диапазоны значений количественных характеристик.

Наименование и код качественной характеристики, допускающей множество возможных значений, должны сопровождаться в классификаторе объектов ЦТК наименованиями указанных значений и кодами, которые присваиваются каждому из значений.

Не допускается включение в классификаторы объектов или признаков, обусловленных особенностями технологий производства ЦТК.

В состав классификатора необходимо включать сведения о самом классификаторе, в том числе о (об):

- утверждении классификатора;
- правилах использования классификатора;
- области применения классификатора;
- внесенных изменениях,

а также иные необходимые для использования классификатора данные.

Необходимо отметить, что положения рассматриваемого ГОСТ должны использоваться не только при создании классификаторов, но и при разработке других нормативно-технических документов нормативной базы цифровой картографии. Примером может служить разработка проекта Руководящего технического

материала «Порядок создания и реализации цифровой картографической продукции открытого пользования», положения которого регламентируют в том числе и содержание классификатора указанной продукции.

7.1.4. Правила цифрового описания картографической информации

Третьим ГОСТ из этой серии стал ГОСТ Р 51607-2000 *Карты цифровые топографические. Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования.*

Содержание рассматриваемого ГОСТ не избежало общей участи всех документов серии «Карты цифровые топографические», а именно необходимости расширения терминологической базы цифровой картографии, что потребовало включения в состав документа терминологического раздела. основополагающими в нем являются следующие термины и определения.

Правила цифрового описания картографической информации – свод систематизированных предписаний, регламентирующих содержание, структуру и порядок формирования цифровой картографической информации при создании цифровых топографических карт.

Объект топографической карты – структурная единица картографической информации, отображающая в соответствии с требованиями нормативной документации объект местности или другую информацию, являющуюся обязательной для отображения на топографической карте.

Цифровое описание объекта цифровой топографической карты – формализованное представление в цифровом виде данных об объекте топографической карты, которое включает в себя цифровое описание пространственного распространения объекта (метрика объекта цифровой топографической карты), его смыслового содержания (семантика объекта цифровой топографической карты) и пространственно-логические связи объекта с другими объектами данного номенклатурного листа топографической карты.

Два основных раздела документа определяют:

- требования к содержанию и структуре цифрового описания картографической информации в составе цифровых топографических карт;
- правила цифрового описания картографической информации.

Основными требованиями, которым должно удовлетворять цифровое описание картографической информации, являются:

- обеспечение возможности представления в цифровой форме любой информации, содержащейся на топографических картах соответствующих масштабов;
- включение в цифровое описание объектов ЦТК данных об их местоположении и плановом очертании;
- реализация представления объектов в объектно-ориентированной форме;
- обеспечение однозначности интерпретации цифровой картографической информации при ее обработке;
- обеспечение возможности автоматического формирования машинных записей объектов, предусмотренных структурой и составом ЦТК.

Цифровое описание картографической информации должно формироваться с использованием правил, объединенных в следующие группы:

- правила определения характера локализации объектов ЦТК;
- правила представления метрики объектов ЦТК;
- правила представления семантики объектов ЦТК;
- правила цифрового описания пространственно-логических связей объектов ЦТК.

В соответствии с определением объекта ЦТК допускается включение в состав цифровых топографических карт ЦКИ, обусловленной особенностями ее отображения в графической форме. Однако вышеуказанная информация должна быть представлена в качестве объектов ЦТК. Включение в состав ЦТК информации, которая не сформирована как объект ЦТК, не допускается.

Объекты ЦТК должны описываться с учетом следующих основных параметров: характер локализации, сложность формирования цифрового описания и характер ориентирования относительно системы координат.

Характер локализации предусматривает такие объекты ЦТК, как дискретные, линейные, площадные и подписи. Характер локализации дискретных, линейных и площадных объектов ЦТК определяется на основе размеров описываемых объектов и масштаба создаваемой цифровой топографической карты. Правила предусматривают, что объектами ЦТК – «подпись» могут быть только имена собственные объектов, границы которых невозможно уверенно определить на местности. Специфическим объектом ЦТК является его паспорт, содержащий набор метаданных, которые характеризуют информацию в границах НЛ ЦТК в целом.

Возможность формирования простых и сложных, а также стандартно и нестандартно ориентированных объектов ЦТК определяется в значительной степени генетической связью между традиционной и цифровой формами описания картографической информации. Вместе с тем она отражает тот факт, что информация будет использована не только для решения аналитических задач, но и для визуализации результатов анализа, где способы отображения должны иметь информационную поддержку.

Цифровое описание каждого объекта ЦТК в обязательном порядке должно включать его номер, идентификатор, метрику и семантику. В цифровом описании объектов ЦТК могут присутствовать данные о пространственно-логических связях.

Правила представления объектов цифровых топографических карт предусматривают, что метрика объекта ЦТК должна описываться координатами точек в заданной системе координат, определяющими его местоположение и плановые очертания с точностью, которая удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ЦТК соответствующего масштаба.

Метрика дискретного объекта ЦТК должна содержать:

- у дискретного стандартно ориентированного объекта – координаты точки местоположения центра объекта;
- у дискретного нестандартно ориентированного объекта – координаты двух точек, совместно задающих направление, одна из которых определяет местоположение центра объекта, другая – ориентацию объекта.

Метрика линейного объекта ЦТК должна быть представлена массивом координат точек, расположенных на осевой линии объекта по всей его длине. Формирование массива должно обеспечивать возможность описания:

- криволинейных объектов – точками, плотность которых обеспечивает сохранение извилистости линии при последующем воспроизведении объекта;
- объектов, состоящих из прямолинейных отрезков, – точками, фиксирующими вершины углов поворота ломаной линии.

Метрика площадного объекта должна быть представлена массивом координат точек, расположенных на линии границы объекта по всей ее длине, с обязательным замыканием контура.

Содержание массива координат точек площадного объекта ЦТК должно обеспечивать возможность формирования таких же вариантов описания метрики, как и для линейных объектов.

Метрика объекта ЦТК с характером локализации «подпись» должна быть представлена массивом координат точек, содержащим:

- у подписи стандартно ориентированной – координаты точки привязки начала подписи;
- у подписи нестандартно ориентированной и расположенной вдоль отрезка прямой или кривой линии – координаты двух и более точек линии.

Первая точка метрики объектов ЦТК с типом локализации «подпись» должна находиться на левом краю отрезка линии, вдоль которого располагается подпись.

Метрика объектов ЦТК должна обеспечивать метрическую согласованность всех объектов в пределах данного НЛ ЦТК и по сводке со смежными НЛ. Для удовлетворения данного требования правила представления метрики объектов ЦТК должны предусматривать:

- наличие в метрике пересекающихся и стыкующихся объектов общей точки;
- наличие в метрике примыкающих объектов (линейных и площадных) общего участка;
- размещение первой и/или последней точки объекта на линии рамки при пересечении линейным объектом внутренней рамки НЛ ЦТК;
- размещение части границы площадного объекта на линии рамки в месте примыкания его к рамке НЛ ЦТК.

Правила представления метрики линейных объектов ЦТК предусматривают в качестве основного варианта выбора первой точки метрики – в любой конечной точке.

Особыми случаями является описание объектов:

- гидрографии (реки, ручьи), где первая точка выбирается с учетом направления – «от истока к устью»;
- рельефа естественного или искусственного происхождения (горизонтали, обрывы, овраги, карьеры и т. д.), где выбор первой точки метрики должен быть согласован с определением направления ската.

Положение начальной точки при описании границы площадных объектов ЦТК произвольно. Исключения из этого правила должны быть описаны в соответствующей технологической документации.

Семантика объекта ЦТК должна описывать сущность и свойства объекта ЦТК и содержать:

- код объекта в соответствии с его наименованием по классификатору объектов;
- код характера локализации;
- цифровое описание характеристик объекта.

Цифровое описание характеристик объекта ЦТК должно содержать:

- код характеристики в соответствии с ее наименованием по классификатору объектов ЦТК;
- значение (при наличии);
- координаты точки (точек) привязки (при необходимости).

Значение характеристики, если в соответствии с классификатором объектов ЦТК характеристика имеет множество значений, должно соответствовать одному из следующих вариантов:

- для количественных характеристик – ее численное значение;
- для качественных характеристик – код соответствующего значения;
- для характеристик типа «имя собственное» – собственное имя объекта в текстовой форме.

Сложный объект ЦТК должен содержать семантику нескольких взаимосвязанных объектов, входящих в его состав.

Правила цифрового описания пространственно-логических связей объектов цифровых топографических карт требуют обеспечения топологически согласованного отображения картографических данных. Выполнение этого требования достигается либо метрической согласованностью объектов ЦТК, либо введением в цифровое описание семантики объектов специальных характеристик, определяющих отношения описываемого объекта с другими объектами.

7.1.5. Требования к качеству цифровых топографических карт

Четвертым ГОСТ в этой серии стал ГОСТ Р 51608-2000 Карты цифровые топографические. Требования к качеству цифровых топографических карт.

Под качеством цифровой карты (ЦК) понимается совокупность показателей, характеризующих степень соответствия ЦК требованиям, предъявляемым к учебным картам данного масштаба.

Оценка качества ЦК – процесс определения показателей, характеризующих качество ЦК, который выполняется изготовителем или пользователем.

Для оценки качества ЦК используются две группы характеристик качества: основные характеристики и описательные характеристики. Характеристики качества ЦК должны быть описаны в паспорте ЦК или в сопровождающем ее создании документе – формуляре.

К основным характеристикам качества ЦК относятся такие, которые могут быть выражены, как правило, количественными показателями (полнота ЦК, точность ЦК, правильность идентификации объектов ЦК, логическая согласованность объектового состава).

Полнота ЦК оценивается по показателям: полнота и правильность заполнения паспорта, полнота объектового состава, полнота характеристик объектов.

Точность ЦК оценивается по показателям: точность положения объектов ЦК в плане относительно исходного картографического материала (ИКМ), точность положения координатной сетки относительно ИКМ.

Правильность идентификации объектов ЦК – оценивается по показателям: правильность определения кодов объектов, правильность определения характеристик объектов.

Логическая согласованность структуры и представления объектов ЦК – оценивается по показателям: соответствие формату ЦК, соответствие системе классификации и кодирования цифровой картографической информации, соответствие правилам цифрового описания картографической информации.

Описательные характеристики качества ЦК отличаются от основных тем, что обладают количественными показателями. Эта категория характеристик качества предоставляет пользователю дополнительную информацию. К описательным характеристикам качества относятся назначение ЦК, происхождение и ее использование.

Значения характеристик и показателей качества ЦК определяются методами интерактивного или автоматического контроля. Контроль ЦК осуществляется в пределах проверяемого листа методом сплошной проверки.

7.1.6. Сертификация цифровых карт

Для того чтобы эффективно проводить в жизнь требования, устанавливаемые стандартами, необходим соответствующий правовой механизм. Таким механизмом является сертификация цифровых карт.

Основными целями сертификации являются:

- упорядочение стихийного рынка;
- защита интересов потребителей;
- экономия бюджетных средств.

Система сертификации включает в себя как обязательную, так и добровольную сертификацию. Цифровые карты являются предметом обязательной сертификации. Внедрение системы сертификации позволит усовершенствовать и механизм лицензирования топографо-геодезической и картографической деятельности. В настоящее время процесс выдачи лицензии во многом формален, так как зависит в основном от правильности представляемых в комиссию по лицензированию документов. Организация производства на получившем лицензию предприятии и изготавливаемая продукция часто не проверяются совсем. Это приводит к появлению на рынке «одноразовых» фирм, заведомо не способных создать качественную продукцию, и фирм-посредников. Особенно много их возникает на рынке модной ныне цифровой картографической продукции. Деятельность таких фирм приводит, как правило, к непроизводительным потерям народных средств. Периодическая сертификация, которой должна будет подвергаться продукция получивших лицензию фирм, позволит отсеивать явный брак и по существу контролировать

обоснованность выдачи лицензий. Сертификация позволит, наконец, скоординировать усилия большинства производителей цифровой картографической продукции путем приведения их к единым требованиям.

Исходным эталоном для сертификации является топографическая карта на твердой основе (бумаге, пластике). Объектом сертификации – цифровая учебная или топографическая карта. Задачей сертификации является подтверждение соответствия цифровой топографической карты (объекта сертификации) топографической карте на твердой основе (исходному эталону).

Для решения задачи необходимо: определить перечень и значения характеристик, на основе которых можно сделать однозначный вывод о соответствии; определить методику оценки значений характеристик и сравнения характеристик объекта сертификации и исходного эталона; определить критерии для вывода о соответствии; разработать тесты для оценки значений характеристик и их сравнения с целью максимального исключения субъективного фактора эксперта при оценке соответствия.

Пилотный проект выполняется для учебной или топографической карты определенного вида и масштаба. Цифровая карта представляется в конкретном наиболее распространенном обменном формате.

Для создания эталонного образца необходимо наличие оттестированной программы обработки результатов сканирования (приведение растрового изображения к теоретическим размерам для устранения погрешности бумаги и сканирования).

Для сравнения испытуемого экземпляра цифровой карты с растровым представлением испытуемого образца необходимо наличие независимой от формата данных программной оболочки для визуализации, использующей в качестве внутреннего формата один из общеизвестных обменных форматов. В этой оболочке должны быть учтены возможности отображения содержимого карты в условных знаках в соответствии с исходным оригиналом; отображения информации по слоям; использования инструментария для определения точностных параметров, отклонения от эталона, измерения абсолютных и относительных координат, для сбора статистических данных, контроля и анализа структуры базы данных; перемещения по стандартным фиксированным окнам с интерактивным заполнением протокола испытаний.

В испытательную лабораторию поступают цифровые карты в установленном обменном формате с наличием объектов, кодировкой и расслоением в соответствии с утвержденным классификатором и исходный эталон объекта сертификации.

Исходный эталон сканируется, приводится к теоретическим параметрам и трансформируется в растровое изображение. Данные по цифровой карте и растровое представление исходного эталона загружаются в программу визуализации и анализа. Проверяется структура данных цифровой карты на соответствие классификатору и ряду других параметров. Соответствие испытуемой карты эталону проверяется путем просмотра на экране видеомонитора стандартных, фиксированных пронумерованных окон по основным выбранным параметрам (наличие, точность, правильность отображения) с заполнением протокола испытаний.

На основе результатов по окнам делаются выводы и заключение о соответствии цифровой карты и исходного эталона в целом.

7.2. Нормативная документация по защите информации в геоинформатике

В мировой практике развитие информационных технологий, обеспечивающих сбор, обработку, преобразование, хранение и распределение различных информационных ресурсов (данных), происходит по экспоненциальной кривой, и эта тенденция сохранится на ближайшие десятилетия. Владение информационными технологиями и ресурсами создает предпосылки для успешного и прогрессивного развития любого государства.

Общесовременный процесс создания мирового информационного пространства предполагает большую открытость государства. Вместе с тем становление новой российской государственности на основе принципов демократии, законности, стремления к более тесному сотрудничеству с зарубежными странами и открытости сторон не исключает необходимости сохранения института государственной тайны и защиты отечественной информационной среды. В настоящее время именно через информационную среду осуществляется угроза национальной безопасности в различных сферах деятельности государства. Сегодня имеет место информационная экспансия ряда развитых стран, осуществляющих глобальный мониторинг мировых политических, экономических, военных, экологических и других процессов (в том числе и в области геоинформации), распространяющих информацию в целях получения односторонних преимуществ. Используя свое определенное преимущество в информационных технологиях, развитые страны пытаются установить и навязать «новый информационный порядок», обеспечивающий значительные возможности использования ими информационных ресурсов (как собственных, так и других стран) для достижения своих национальных целей, в ущерб национальным интересам других стран.

Вероятно, одной из главных причин международных конфликтов завтрашнего дня станет борьба за энергетические и иные природные ресурсы, сведения о которых собраны и хранятся в основном на картографической основе, а также используются в геоинформационных системах различного назначения.

К сожалению, в общественном сознании России еще не полностью осознано понимание роли и места информации в современном мире, понимание того факта, что средства и системы информации страны, политика использования информационных ресурсов в значительной степени определяют как наш оборонный потенциал, так и успех экономической реформы.

В последнее время в ряде публикаций журналов и бюллетеней в области геоинформации высказывается мнение о неоправданности требований по секретности, о большой стоимости работ в области защиты информации, что чуть ли не делаются попытки некоторых ведомств оградить Россию от технического прогресса путем реконструкции «железного занавеса» и выставления препятствий на пути приобретения различных данных, например, космического зондирования высокогорных разрешенных и высокоточных GPS (приемников и др.).

В общем виде защита информационной среды строится на основе следующих основных принципов: законодательного (правового) обеспечения вопросов защиты информации различных видов; проведения единой государственной политики в области засекречивания сведений и информации (обоснованности, необходимости и достаточности); лицензирования деятельности предприятий, организаций и учреждений в области защиты информации; сертификации систем и средств защиты информации и аттестования объектов информатизации по требованиям безопасности; упорядочения правил информационного обмена и передачи информационных продуктов, в том числе международного информационного обмена.

На основе этих основных принципов каждое министерство и ведомство осуществляет необходимые мероприятия и комплекс работ в области защиты информации применительно к сфере своей деятельности и в пределах компетенции, определенной законодательством.

Федеральным законом «Об информации, информатизации и защите информации», направленным на регулирование взаимоотношений в информационной среде, определено (ст. 2): «Информация – сведения о лицах, предметах, фактах, событиях, явлениях и процессах независимо от формы их представления; документированная информация (документ) – зафиксированная на материальном носителе информация с реквизитами, позволяющими ее идентифицировать». Этим законом определено, что информационные ресурсы, т. е. отдельные документы или массивы документов, в том числе и в информационных системах, являясь объектом отношений физических, юридических лиц и государства, подлежат ОБЯЗАТЕЛЬНОМУ УЧЕТУ и ЗАЩИТЕ, как всякое материальное имущество собственника (ст. 4.1, ст. 6.1). При этом собственнику предоставляется право самостоятельно, в пределах своей компетентности, устанавливать режим защиты информационных ресурсов и доступа к ним (ст. 6.7). Необходимо отметить, что ответственность за выполнение мер защиты лежит не только на собственнике, но и на пользователе информации. Собственник информационных ресурсов, содержащих государственную тайну, вправе распоряжаться этой собственностью только с разрешения соответствующих органов государственной власти (ст. 6.3). Российская Федерация и ее субъекты являются собственниками информационных ресурсов, создаваемых за счет средств федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации. В законе также упоминается об информации, которая представляет собой национальное достояние. Согласно ст. 10.2 введено понятие документированной информации с ограниченным доступом, которая подразделяется на информацию, отнесенную к государственной тайне, и конфиденциальную (т. е. документированную информацию, доступ к которой ограничивается в соответствии с законодательством Российской Федерации, – коммерческую, личную, служебную, банковскую и другие тайны). Основными целями защиты информации, согласно Федеральному закону «Об информации, информатизации и защите информации», являются (ст. 20): предотвращение утечки, хищения, утраты, искажения, подделки информации; предотвращение угроз безопасности личности, общества, государства; предотвращение несанкционированных действий по унич-

тожению, модификации, искажению, копированию, блокированию информации; предотвращение других форм незаконного вмешательства в информационные ресурсы и информационные системы, обеспечение правового режима документированной информации – как объекта собственности; защита конституционных прав граждан на сохранение личной тайны и конфиденциальности персональных данных, имеющих в информационных системах; сохранение государственной тайны, конфиденциальности документированной информации в соответствии с законодательством; обеспечение прав субъектов в информационных процессах и при разработке, производстве и применении информационных систем, технологий и средств их обеспечения. Собственники информационных ресурсов, содержащих сведения, отнесенные к государственной тайне, в том числе и сведения ограниченного доступа, неправомерное обращение с которыми может нанести ущерб ее собственникам, изыскивают специальные меры, обеспечивающие контроль за ее использованием и качеством защиты. Секретность информации. По мере развития государства и перехода к рыночной экономике остро встала необходимость изменения принципа секретности, свыше семидесяти лет базировавшейся на привычном представлении «осажденной крепости», «охраны забора» или «железного занавеса». Утверждение Президентом РФ (Указ № 1230 от 30 ноября 1995 г.) и открытая публикация «Перечня сведений, отнесенных к государственной тайне» – новый этап становления правового режима защиты государственной тайны в РФ и засекречивания. Этот перечень предназначен для осуществления единой государственной политики в области засекречивания. В настоящее время имеются следующие основные документы, определяющие отношение к государственной тайне и засекречиванию: Закон РФ «О государственной тайне»; «Перечень сведений, отнесенных к государственной тайне»; «Положение о Межведомственной комиссии по защите государственной тайны»; «О перечне должностных лиц органов государственной власти, наделенных полномочиями по отнесению сведений к государственной тайне»; Уголовный кодекс РФ, содержащий статьи, предусматривающие ответственность за посягательства на государственную тайну и преступления в сфере компьютерной информации.

Перечень сведений дан как исчерпывающий и соответствует ст. 5 Закона РФ «О государственной тайне». Должностные лица – руководители федеральных органов исполнительной власти персонально распоряжением Президента РФ наделены полномочиями по засекречиванию сведений. Принцип обоснованности засекречивания (ст. 6 Закона РФ «О государственной тайне») позволяет из всей области сведений, засекречивание которых законно, выбрать только те, засекречивание которых еще и целесообразно по экономическим и иным причинам. Обоснованность засекречивания сведений, согласно Закону РФ «О государственной тайне», должна пересматриваться не реже чем раз в 5 лет. В итоге появилась возможность от жесткой и «неповоротливой» перечневой системы общегосударственного засекречивания перейти к системе отраслевых, ведомственных и программно-целевых перечней, которые достаточно оперативно могут изменяться в соответствии с происходящими переменами в политической и экономической жизни страны.

Такой подход должен позволить сегодня системе засекречивания адаптироваться к изменяющимся обстоятельствам, ввести экономические и иные качественные показатели обоснованности засекречивания, не поддерживать искусственную секретность, наносящую ущерб экономическим интересам РФ. В области геодезии и картографии согласно «Перечню сведений, отнесенных к государственной тайне» (разд. IV, п. 62) государственными органами, наделенными полномочиями по распоряжению сведениями, отнесенными к государственной тайне, а именно «Сведениями, раскрывающими результаты топографической, геодезической или картографической деятельности, имеющими важное оборонное или экономическое значение», являются Минобороны России, Минэкономики России и Роскартография. В системе Роскартографии основными нормативными документами, определяющими секретность и конфиденциальность, а также порядок использования карт ограниченного доступа, являются:

- 1) «Развернутый перечень сведений, подлежащих засекречиванию по системе Роскартографии»;
- 2) «Перечень сведений по геодезии, топографии, картографии и аэросъемке и их носителей, отнесенных к служебной информации ограниченного распространения с пометкой «ДСП»;
- 3) Инструкция СТГМ-90;
- 4) «Перечень элементов содержания топографических карт и планов городов, не подлежащих показу на картах открытого использования»;
- 5) правовая основа лицензирования и сертификации в области защиты информации.

Основными нормативными документами по лицензированию и сертификации в области защиты информации являются:

- 1) Постановление Правительства РФ от 24 декабря 1994 г. № 1418 «О лицензировании отдельных видов деятельности»;
- 2) Закон РФ 1993 г. № 5485-1 «О государственной тайне»;
- 3) Указ Президента РФ 1992 г. № 9 «О создании Государственной технической комиссии при Президенте Российской Федерации» и Распоряжение Президента РФ № 829;
- 4) Закон РФ 1993 г. № 4524-1 «О федеральных органах правительственной связи и информации»;
- 5) Совместное решение Гостехкомиссии России и ФАПСИ 1994 г. № 10 «Положение о государственном лицензировании деятельности в области защиты информации»;
- 6) Постановление Правительства Российской Федерации № 333 «О лицензировании деятельности предприятий и организаций по проведению работ, связанных с использованием сведений, составляющих государственную тайну, созданием средств защиты информации, а также с осуществлением мероприятий и (или) оказанием услуг по защите государственной тайны»;
- 7) Закон РФ «О защите прав потребителей»;
- 8) Закон РФ 1993 г. № 5151-1 «О сертификации продукции и услуг»;

- 9) Указ Президента РФ от 01.04.95 г. № 334 «О мерах по соблюдению законности в области разработки, производства, реализации и эксплуатации шифровальных средств, а также предоставления услуг в области шифрования информации»;
- 10) Закон РФ «Об органах Федеральной службы безопасности Российской Федерации»;
- 11) Постановление Правительства РФ от 26 июня 1995 г. № 608 «О сертификации средств защиты информации»;
- 12) «Положение о сертификации продукции по требованиям безопасности информации» Гостехкомиссии России;
- 13) «Положение об аккредитации экспертных комитетов и испытательных лабораторий по сертификации продукции» Гостехкомиссии России;
- 14) «Положение по аттестации объектов информатики по требованиям безопасности информации» Гостехкомиссии России и ряд других.

Рассмотрение вопросов систем лицензирования и сертификации в предметной области защиты информации должно быть темой отдельной публикации, поэтому рассмотрим общие (итоговые) положения об этих системах.

Система лицензирования деятельности в области защиты информации вступила в силу с 1 января 1995 г. и подразумевает:

- 1) лицензирование деятельности предприятий с использованием сведений, составляющих государственную тайну, – лицензии выдаются ФСБ России – на территории России, СВР России – за рубежом;
- 2) лицензирование деятельности в области защиты информации и работ, связанных с созданием средств защиты информации, – лицензии выдаются Гостехкомиссией России и ФАПСИ в пределах их компетенции;
- 3) лицензирование деятельности по оказанию услуг в области защиты государственной тайны – лицензии выдаются ФСБ России и ее территориальными органами, ФАПСИ, Гостехкомиссией России, СВР России в пределах прав, предоставленных законами.

Организация сертификации средств защиты информации возлагается на Гостехкомиссию России, ФСБ, ФАПСИ и Минобороны России в пределах компетенции, определенной для них в вышеприведенных нормативных документах.

Что конкретно подлежит сертификации:

- 1) сертификации подлежат защищенные технические, программно-технические, программные средства, системы, сети вычислительной техники и связи, средства защиты и средства контроля эффективности защиты;
- 2) обязательной сертификации подлежат средства, в том числе и иностранного производства, предназначенные для обработки информации с ограниченным доступом и прежде всего содержащей сведения, составляющие государственную тайну, а также использующиеся в управлении экологически опасными объектами, вооружением и военной техникой и средства их защиты. В остальных случаях сертификация носит добровольный характер и может осуществляться по инициативе производителя и потребителя.

Сертификация производится: программных и технических средств защиты информации, не использующих методы криптографии и шифрования, – в рамках: «Системы сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации» РОСС RU.0001.01БИ00 испытательными лабораториями и экспертными комитетами, аккредитованными Гостехкомиссией России; программных и технических средств защиты информации, использующих методы криптографии и шифрования, – в рамках «Системы сертификации средств: криптографической защиты информации» РОСС RU 0001.03001 органами ФАПСИ. В Гостехкомиссии России и ФАПСИ завершается работа над Перечнями средств защиты информации, подлежащих сертификации в конкретных системах сертификации.

В настоящее время Правительством Российской Федерации поднимается вопрос создания системы обязательной государственной сертификации информационных систем, обрабатывающих единые государственные ресурсы, представляющие национальное достояние России.

Об информационном обмене и передаче потребителям картографической информации. На многих предприятиях возникают трудности с определением правомочности вывоза за рубеж различной обобщенной информации, сделанной, например, на основе картографической информации. Такая информация может составлять национальное достояние России и иметь большую практическую и коммерческую ценность.

Различными организациями, в том числе коммерческими, предлагается широкий перечень услуг по выходу в сеть INTERNET, с размещением информации на специализированных серверах WWW. Безусловно, использование сети INTERNET является уникальной возможностью обмена рекламной, демонстрационной, учебной, справочной и другой информацией между десятками миллионов пользователей. Однако необходимо отметить, что применяемые средства и системы защиты информации в сети INTERNET для информации, которую поставщики и пользователи хотели бы ограничить в использовании, практически не обеспечивают ее защиту. Основным документом, определяющим правила международного информационного обмена, является Федеральный закон РФ «Об участии в международном информационном обмене». В соответствии с законом доступ предприятий к средствам международного информационного обмена и иностранным информационным продуктам осуществляется по правилам, установленным собственником или владельцем этих средств и продуктов, в соответствии с законодательством РФ. Собственник или владелец средств международного информационного обмена и информационных продуктов обязан обеспечить открытость установленных им правил доступа и возможность ознакомления с ними пользователя.

Согласно закону:

- 1) ст. 8 п. 1: «Ограничивается вывоз из Российской Федерации документированной информации, отнесенной к государственной тайне, или иной конфиденциальной информации; общероссийскому национальному достоянию; архивному фонду; иным категориям документированной информации, вывоз которой может быть ограничен законодательством РФ. Возможность вывоза с территории Российской Федерации такой документированной информации определяется Правительством Российской Федерации в каждом отдельном случае»;

- 2) ст. 9 п. 2: «Защита конфиденциальной информации государством распространяется только на ту деятельность по международному информационному обмену, которую осуществляют физические и юридические лица, обладающие лицензией на работу с конфиденциальной информацией и использующие сертифицированные средства международного информационного обмена»;
- 3) ст. 17 п. 3: «Средства международного информационного обмена, которые обрабатывают документированную информацию с ограниченным доступом, а также средства защиты этих средств подлежат обязательной сертификации»;
- 4) ст. 18: «Деятельность по международному информационному обмену в Российской Федерации подлежит лицензированию в случаях, когда в результате этой деятельности вывозится за пределы территории Российской Федерации документированная информация для пополнения государственных информационных ресурсов за счет средств федерального бюджета субъектов Российской Федерации, если это не противоречит международным договорам Российской Федерации и законодательству Российской Федерации. Порядок лицензирования определяется Правительством Российской Федерации».

Необходимо отметить, что готовится ряд нормативных документов, определяющих порядок лицензирования и сертификации в области международного информационного обмена. Правовые основы деятельности в области геодезии и картографии, направленной на создание условий для удовлетворения потребностей государства, граждан и юридических лиц, а также условий для функционирования и взаимодействия органов государственной власти, определены в Федеральном законе РФ «О геодезии и картографии».

В соответствии с законом установлено:

- 1) ст. 5 п. 3: «Осуществление исполнительных, распорядительных, разрешительных, надзорных и иных функций в области геодезической и картографической деятельности, относящихся к ведению Российской Федерации, выполняет федеральный орган исполнительной власти по геодезии и картографии» (т. е. Роскартография. – *Примеч. авт.*);
- 2) ст. 9 п. 5: «Передача третьим лицам полученных материалов и данных государственного картографо-геодезического фонда Российской Федерации и их копирование не допускаются без разрешения соответствующего органа исполнительной власти, в ведении которого находятся эти материалы и данные»;
- 3) ст. 9 п. 6: «Доступ к материалам и данным государственного картографо-геодезического фонда Российской Федерации, являющимся носителями сведений, составляющих государственную тайну, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации о государственной тайне»;
- 4) ст. 9 п. 8: «Государственный геодезический надзор за передачей гражданами и юридическими лицами геодезических и картографических материалов и данных в соответствующие картографо-геодезические фонды, хранением и использованием этих материалов и данных, а также ведение государственного реестра ведомственных картографо-геодезических фондов осуществляет федеральный орган исполнительной власти по геодезии и картографии»;

- 5) ст. 9 п. 9: «Граждане и юридические лица – пользователи материалов и данных государственного картографического фонда Российской Федерации – обязаны: обеспечивать сохранность полученных во временное пользование указанных материалов и данных и возвращать их в установленные сроки; не разглашать содержащиеся в указанных материалах и данных сведения, составляющие государственную тайну»;
- 6) ст. 13 п. 3: «Федеральный орган исполнительной власти по геодезии и картографии и его территориальные органы при осуществлении государственного геодезического надзора имеют право доступа в установленном порядке в соответствующие федеральные органы исполнительной власти, а также в организации независимо от их форм собственности для ознакомления со всеми необходимыми документами по вопросам геодезической и картографической деятельности».

В соответствии с указанными законами предприятия Роскартографии до выдачи потребителям созданной секретной и с пометкой «для служебного пользования» картографической продукции в цифровом (электронном) и в графических видах в обязательном порядке согласовывают ее с инспекциями государственного геодезического надзора Роскартографии. Такому согласованию подлежат также топографические карты масштабов 1 : 200 000, 1 : 500 000 и 1 : 1 000 000 в графическом и цифровом (электронном) видах, не имеющие ограничительного грифа, но содержащие служебную информацию ограниченного распространения.

Иногда получатели (потребители) указанной выше картографической продукции Роскартографии передают ее третьим организациям для использования при выполнении различных договорных работ. Такая передача разрешается только по согласованию с инспекциями госгеонадзора Роскартографии, которые должны самым тщательным образом изучить возможности исполнителя договорных работ по обеспечению требований учета, хранения и использования переданных ему материалов. Учитывая, что в законодательстве РФ, а также в Гостехкомиссии России, ФАПСИ и ФСБ в течение 1993–1996 гг. появилось много новых документов в области защиты информации, в Роскартографии были приняты меры по приведению в соответствие с требованиями новых документов отраслевой системы защиты. В отрасли определена головная организация по вопросам комплексной системы защиты информации – «Росгеоинформ», налажено взаимодействие с Гостехкомиссией России и ведущими центрами по вопросам защиты информации ряда ведомств и министерств, проведено обучение на специализированных курсах нескольких десятков специалистов по вопросам защиты в автоматизированных системах.

В настоящее время разработаны нормативные документы (НД), определяющие порядок проведения работ по защите унифицированной информации (ЦКИ). Введение в действие этих НД по отрасли позволит осуществлять защиту ЦКИ и ГИС централизованно, с сокращением финансовых затрат, и в целом повысить систему нормативного контроля эффективности принятых или принимаемых новых мер защиты на предприятиях Роскартографии. С точки зрения решения вопросов защиты информации особенности технологий создания ЦКИ и геоинформационных систем по сравнению с обычными информационными системами вызваны ориентацией

последних на одну предметную область обработки информации (например, проектирование плат) и ее хранения в базах данных, в то время как технологии создания ЦКИ и ГИС предусматривают многослойность географической и тематической информации в базах данных с разным уровнем конфиденциальности или секретности и чувствительности слоев; возможность появления секретной информации, а также в результате обращения пользователя к геоинформации, начиная с определенного «слоя» из масштабного ряда цифровых топографических данных. Тематическая информация различного характера может быть секретна частями или становится секретной по мере ее заполнения. Эти особенности влекут за собой иной подход к проектированию ряда элементов системы защиты информации, в частности системы разграничения доступа, и определенные сложности в настройке реквизитов защиты.

Для решения этих вопросов должен быть осуществлен выбор средств и систем защиты информации (СЗИ) для различных операционных сред в государственных организациях и коммерческих фирмах, как правило, по следующим основным принципам:

- 1) наличие на средства и системы защиты сертификата соответствия требованиям безопасности Гостехкомиссии России или ФАПСИ, с документацией, а также демо-версиями и рекламными проспектами;
- 2) перспективные несертифицированные системы и средства защиты, которые могут быть представлены на сертификационные испытания;
- 3) сведения о количестве установленных инсталляций СЗИ и в каких организациях, отзывах о качестве функционирования СЗИ;
- 4) возможность функционирования СЗИ на автономных ПЭВМ и в составе ЛВС;
- 5) возможность функционирования в серийных, стандартизованных операционных средах типа MS DOS и различных серий Windows, SCO UNIX и т. п., а также в системах управления базами данных типа Paradox, Oracle, Autocad и др.;
- 6) наличие удобного интерфейса и простота взаимодействия пользователей и администраторов ЛВС с СЗИ;
- 7) возможность совместного функционирования (совместимость) СЗИ с технологическим программным обеспечением, технологиями создания ЦКИ и ГИС;
- 8) выполнение требований по защите, в том числе программных ресурсов от НСД, в соответствии с требованиями ГОСТ и НД;
- 9) возможность совместного функционирования (непротиворечивость) с дополнительно устанавливаемыми или встраиваемыми аппаратными СЗИ (криптографические платы, электронные ключи и т. п.);
- 10) возможность дальнейшего развития СЗИ;
- 11) стоимость установки – начиная с одной ПЭВМ – и ценовая политика по снижению цен при установке СЗИ на ПЭВМ от 11 шт.;
- 12) показатели (по результатам сертификации) класса защищенности от НСД к информации для АС и для средств вычислительной техники;
- 13) возможность обработки информации различной степени секретности, служебной информации ограниченного распространения и коммерческой тайны;

- 14) гарантийные обязательства, в том числе по бесплатной (или со скидкой) установке улучшенных версий СЗИ;
- 15) минимальные и максимальные технические ресурсы ПЭВМ, требующиеся для нормального функционирования СЗИ (объем оперативной и дисковой памяти и т. п.), быстродействие, временные и надежность характеристики (если они имеются) и ряд других критериев.

В России действует в настоящее время следующая законодательная база по защите информации.

Федеральные законы Российской Федерации

«О государственной тайне» от 21 июля 1993 г. № 5485-1 (с изменениями от 6 октября 1997 г.)

Указы Президента Российской Федерации

«О дополнении состава межведомственной комиссии по защите государственной тайны по должностям» от 9 января 1999 г. № 43

Концепция национальной безопасности Российской Федерации от 10 января 2000 г. № 24

Доктрина информационной безопасности Российской Федерации от 9 сентября 2000 г.

Постановления Правительства Российской Федерации

«Об утверждении Положения о порядке обращения со служебной информацией ограниченного распространения в федеральных органах исполнительной власти» от 3 ноября 1994 г. № 1233

«О лицензировании деятельности предприятий, учреждений и организаций по проведению работ, связанных с использованием сведений, составляющих государственную тайну, созданием средств защиты информации, а также с осуществлением мероприятий и (или) оказанием услуг по защите государственной тайны» от 15 апреля 1995 г. № 333 (с изменениями от 23 апреля 1996 г., 30 апреля 1997 г., 29 июля 1998 г.)

Положение о сертификации средств защиты информации от 26 июня 1995 г. № 608

Положения

Положение о государственном лицензировании деятельности в области защиты информации, утверждено Решением Гостехкомиссии РФ и ФАПСИ при Президенте РФ от 27 апреля 1994 г. № 10

Положение о сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации, введено приказом Председателя Гостехкомиссии РФ от 27 октября 1995 г. № 199

Положение по аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации, утверждено Председателем Гостехкомиссии РФ от 25 ноября 1994 г.

Положение об аккредитации испытательных лабораторий и органов по сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации, утверждено Председателем Гостехкомиссии РФ от 27 октября 1995 г.

Типовое положение об органе по аттестации объектов информатизации по требованиям безопасности информации, утверждено **Председателем Гостехкомиссии РФ от 25 ноября 1994 г.**

Типовое положение об органе по сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации, утверждено **Председателем Гостехкомиссии РФ от 25 ноября 1994 г.**

Типовое положение об испытательной лаборатории, утверждено **Председателем Гостехкомиссии РФ от 25 ноября 1994 г.**

ГОСТ

ГОСТ Р 50739-95 Защита от несанкционированного доступа к информации. Введен в действие с 1 января 1996 г.

ГОСТ Р 50922-96 Защита информации. Основные термины и определения. Введен 1 июля 1997 г.

7.3. Защита геоинформации в глобальных сетях

Проблема компьютерной безопасности не нова. Каждый, кто использует компьютерные сети, нуждается в средствах обеспечения безопасности. Статистика показывает, что в большинстве случаев несанкционированного проникновения в систему можно избежать, если системный администратор уделяет должное внимание средствам защиты. Эффективность обеспечения безопасности компьютерных систем всегда зависит от качества настройки программно-аппаратных средств. Операционная система Windows NT имеет богатый набор средств защиты. Однако установленные по умолчанию значения параметров защиты не всегда удовлетворяют предъявляемым требованиям. Рассмотрим основные средства и методы обеспечения безопасности, входящие в состав Windows NT 4.0 и 5.0.

К физическим средствам защиты относятся:

- обеспечение безопасности помещений, где размещены серверы сети;
- ограничение посторонним лицам физического доступа к серверам, концентраторам, коммутаторам, сетевым кабелям и другому оборудованию;
- использование средств защиты от сбоев электросети.

В функции Менеджера учетных записей входит поддержка механизма идентификации и проверки подлинности пользователей при входе в систему. Все необходимые настройки хранятся в базе данных Менеджера учетных записей. К ним относятся:

- учетные записи пользователей;
- учетные записи групп;
- учетные записи компьютеров домена;
- учетные записи доменов.

Наиболее интересным является раздел учетных записей пользователей: в них хранится информация об именах и паролях. Следует заметить, что пароли не хранятся в текстовом виде. Они защищены процедурой хеширования. Это не значит, что, не зная пароля в текстовом виде, злоумышленник не проникнет в систему.

При сетевом подключении не обязательно знать текст пароля, достаточно хешированного пароля. Поэтому достаточно получить копию базы данных SAM и извлечь из нее хешированный пароль.

Поэтому для защиты информации, хранящейся в базе данных SAM, необходимо следующее:

- исключить загрузку серверов в DOS-режиме (все разделы установить под NTFS, отключить загрузку с флоппи- и компакт-дисков, желательно установить на BIOS пароль (хотя эта мера уже давно устарела, поскольку некоторые версии BIOS имеют «дырки» для запуска компьютера без пароля, все-таки злоумышленник потеряет на этом время для входа в систему);
- ограничить количество пользователей с правами Backup Operators и Server Operators;
- после установки или обновления удалить файл Sam.sav;
- отменить кеширование информации о безопасности на компьютерах домена (имена и пароли последних десяти пользователей, регистрировавшихся ранее на данном компьютере, сохраняются в его локальном реестре).

Один из популярных методов проникновения в систему – подбор пароля. Для борьбы с этим обычно устанавливают блокировку учетной записи пользователя (Account Lockout) после определенного числа неудачных попыток входа, используя для этого утилиту User Manager в диалоговом окне Account Policy.

Приятным исключением является учетная запись администратора. И если он имеет право на вход через сеть, это открывает лазейку для спокойного угадывания пароля. Для защиты рекомендуется переименовать пользователя Administrator, установить блокировку учетных записей, запретить администратору вход в систему через сеть, запретить передачу SMB-пакетов через TCP/IP (порты 137, 138, 139), установить протоколирование неудачных входов;

- необходимо ввести фильтрацию вводимых пользователем паролей, установить Service Pack 2 или 3 (используется динамическая библиотека Passfilt.dll). Данная библиотека при создании нового пароля проверяет, что:
 - длина пароля не менее шести символов;
 - содержит три набора из четырех существующих:
 - прописные группы латинского алфавита A, B, C, ..., Z,
 - строчные группы латинского алфавита a, b, c, ..., z,
 - арабские цифры 0, 1, 2, ..., 9,
 - неарифметические (специальные) символы, такие как знаки препинания;
 - пароль не состоит из имени пользователя или любой его части.

Операционная система Windows поддерживает файловые системы FAT (File Allocation Table) и NTFS (New Technology File System). Напомним, что первая поддерживается такими известными операционными системами, как MS-DOS, Windows 3.X, Windows 95/98 и OS/2, вторая – только Windows NT. У FAT и NTFS различные характеристики производительности, разный спектр предоставляемых возможностей и т. д. Основное отличие файловой системы NTFS от других

(FAT, VFAT (Virtual File Allocation Table), HPFS) состоит в том, что только она одна удовлетворяет стандарту безопасности C2, в частности NTFS обеспечивает защиту файлов и каталогов при локальном доступе.

Защиту ресурсов с использованием FAT можно организовать с помощью прав доступа: *Чтение, Запись, Полный*.

Таким образом, можно рекомендовать создавать дисковые разделы NTFS вместо FAT. Если все же необходимо использовать раздел FAT, то его надо сделать отдельным разделом для приложений MS-DOS и не размещать в нем системные файлы Windows NT.

Поскольку файлы и каталоги в Windows являются объектами, контроль безопасности осуществляется на объектном уровне. Дескриптор безопасности любого объекта в разделе NTFS содержит два списка контроля доступа (ACL) – дискреционный (discretionary ACL (DACL)) и системный (system ACL (SACL)).

В операционной системе Windows управление доступом к файлам и каталогам NTFS возлагается не на администратора, а на владельца ресурса и контролируется системой безопасности с помощью маски доступа (access mask), содержащейся в записях списка контроля доступа ACL.

Список SACL задает определенный владельцем тип доступа, что заставляет систему генерировать записи проверки в системном протоколе событий. Только системный администратор управляет этим списком.

На самом же деле для администрирования используются не отдельные права доступа, а разрешения (permissions) NTFS. Разрешения подразделяются на:

- индивидуальные – набор прав, позволяющий предоставлять пользователю доступ того или иного типа;
- стандартные – наборы индивидуальных разрешений для выполнения над файлами или каталогами действий определенного уровня;
- специальные – комбинация индивидуальных разрешений.

Количество пользователей с правами администратора рекомендуется свести к минимуму. Учетную запись Guest лучше вообще удалить, хотя она при установке (по умолчанию) и так отключена, а вместо этой учетной записи создать для каждого пользователя свою временную учетную запись с соответствующими разрешениями и правами.

Системный реестр (registry) Windows – это база данных, содержащая информацию о конфигурации и значениях параметров всех компонентов системы (устройствах, операционной системе и приложениях). Основные кусты реестра находятся в ветви HKEY_LOCAL_MACHINE и называются SAM, SECURITY, SOFTWARE и SYSTEM. Куст SAM, как мы уже знаем, – это база данных Менеджера учетных записей, SECURITY хранит информацию, используемую локальным Менеджером безопасности (LSA). В кусте SOFTWARE находятся параметры и настройки программного обеспечения, а в SYSTEM содержатся данные о конфигурации, необходимые для загрузки операционной системы (драйверы, устройства и службы).

Доступ пользователей к полям реестра следует разграничить. Это можно осуществить с помощью утилиты Regedt32.

Установленные в системе по умолчанию разрешения на доступ к разделам реестра нельзя модифицировать рядовым пользователям. Доступ к файлам и прин-

терам по сети в операционной системе Windows NT обеспечивает сервер SMB (Server Message Block), называемый просто сервером или LAN Manager-сервером. SMB осуществляет проверку подлинности клиента, пытающегося получить доступ к информации по сети. Существует два режима работы системы контроля: проверка на уровне ресурса (Share Level) и проверка на уровне пользователя (User Level). Windows NT не поддерживает доступ на уровне ресурса.

При проверке на уровне пользователя сервер выполняет идентификацию пользователя на основе базы учетных записей. Протокол SMB обеспечивает защиту в начальный момент сеанса, затем все данные пользователя передаются по сети в открытом виде. Если вы хотите обеспечить конфиденциальность информации, необходимо использовать программные или аппаратные средства шифрования транспортного канала (например, PPTP, входящего в Windows NT).

Сеансы протокола SMB можно подделать или перехватить. Шлюз может перехватить сеанс SMB и получить такой же доступ к файловой системе, как и легальный пользователь, инициирующий сеанс. Но шлюзы редко используются в локальных сетях. А если такую попытку предпримет компьютер в сети Ethernet или Token Ring, в которой находится клиент или сервер SMB, то это вряд ли удастся, поскольку перехватывать пакеты достаточно трудно.

Возможность передачи по сети пароля пользователя в открытом виде делает систему уязвимой. После установки Service Pack 3 в операционной системе автоматически отключается возможность передачи пароля в открытом виде, но существуют SMB-серверы, не принимающие зашифрованный пароль (например, Lan Manager для UNIX).

Следует отметить, что корпорация Microsoft модифицировала протокол SMB, который назван SMB Signing. При этом клиент и сервер проверяют подлинность каждого сообщения, поступающего по протоколу SMB. Для этого в каждое сообщение SMB помещается электронная подпись, удостоверяющая знание пароля пользователя клиентом или сервером, пославшим это сообщение. Таким образом, электронная подпись удостоверяет, что команда SMB, во-первых, создана стороной, владеющей паролем пользователя; во-вторых, создана в рамках именно этого сеанса; и, в-третьих, сообщение, передаваемое между сервером и клиентом, – подлинник.

Для включения проверки электронных подписей в сообщения SMB необходимо установить Service Pack 3 и произвести установку параметров в реестре сервера и клиента, для сервера – в разделе HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\.

Если значение равно 0 (по умолчанию), то поддержка SMB Signing на сервере выключена. В отличие от сервера у клиента значение EnableSecuritySignature по умолчанию уже равно 1.

При инициализации сервера образуются папки административного назначения (Administrative shares), которые обеспечивают доступ к корневому каталогу тома. Доступ к этим ресурсам по умолчанию разрешен только членам групп Administrators, Backup Operators, Server Operators и Power Users. Если вы хотите отменить доступ к ним, то необходимо, используя утилиту System Policy Editor, снять флажки с параметров Create Hidden Drive Shares в разделе Windows NT Network\Sharing.

Необходимо ограничить права анонимного пользователя. Инсталляция Service Pack 3 закрывает доступ к реестру системы для анонимного пользователя.

Microsoft Internet Information Server (IIS) был создан для унификации работы всех служб Internet. Он представляет собой высокоинтегрированный пакет серверных служб поддержки HTTP, FTP и Gopher.

Защита IIS основана на средствах обеспечения безопасности Windows. В их число входят:

- *учетные записи пользователей.* Для предотвращения несанкционированного доступа к узлу IIS следует контролировать учетные записи пользователей. К основным методам защиты также относятся: применение формуляра «Гость из Internet», регистрация по имени и паролю пользователя (по схеме аутентификации Windows NT) и выбор сложных для угадывания паролей;
- *установка NTFS;*
- *права доступа.* Основным механизмом доступа через сервер IIS является анонимный доступ. Из механизмов проверки подлинности лишь Windows NT Challenge-Response, используемый сервером HTTP, можно считать относительно защищенным. Поэтому не применяйте для аутентификации базовую схему, так как имя пользователя и пароль при этом передаются по сети открытым способом;
- *уменьшение числа протоколов и отключение службы Server.* Уменьшив число протоколов, которыми пользуются сетевые адаптеры, вы заметно усилите защиту. Чтобы пользователи не смогли просматривать разделяемые ресурсы IIS, отключите службу Server. Отключение этой службы затруднит злоумышленникам поиск слабых мест в вашей системе;
- *защита информации в FTP.* FTP всегда использует защиту на уровне пользователя. Это значит, что для доступа к серверу FTP пользователь должен пройти процедуру регистрации. Сервис FTP сервера IIS для идентификации пользователей, желающих получить доступ, может использовать базу данных пользовательских бюджетов Windows NT Server. Однако при этой процедуре FTP передает всю информацию только открытым текстом, что создает опасность перехвата пользовательских имен и паролей.

Проблема раскрытия паролей устраняется при таких конфигурациях сервера FTP, когда он разрешает анонимный доступ. При анонимном входе пользователь должен ввести в качестве пользовательского имени **anonymous** и свой почтовый (e-mail) адрес – в качестве пароля. Анонимные пользователи получают доступ к тем же файлам, доступ к которым разрешен бюджету *IVSR_computename*.

Кроме того, к сервису FTP сервера IIS Windows NT можно разрешить исключительно анонимный доступ. Такой вариант хорош тем, что при нем отсутствует возможность рассекречивания паролей в общей сети. Анонимный доступ к FTP разрешен по умолчанию;

- *контроль доступа по IP-адресу.* Существует дополнительная возможность контроля доступа к серверу IIS – разрешение или запрещение доступа с конкретных IP-адресов. Например, можно запретить доступ к своему серверу с определенного IP-адреса; точно так же можно сделать сервер недоступным для целых сетей. С другой стороны, можно разрешить доступ к серверу только определенным узлам;

- *схемы шифрования.* Чтобы обеспечить безопасность пакетов во время их пересылки по сети, приходится применять различные схемы шифрования. Необходимость в такой защите вызвана тем, что при пересылке пакетов по сети не исключен перехват кадров. Большинство схем шифрования работает внутри прикладного и транспортного уровня модели OSI. Некоторые схемы могут работать и на более низких уровнях. Используются такие протоколы, как SSL, PCT, SET, PPTP, PGP.

Аудит – одно из средств защиты сети Windows. С его помощью можно отслеживать действия пользователей и ряд системных событий в сети. Фиксируются следующие параметры, касающиеся действий, совершаемых пользователями:

- выполненное действие;
- имя пользователя, выполнившего действие;
- дата и время выполнения.

Аудит, реализованный на одном контроллере домена, распространяется на все контроллеры домена. Настройка аудита позволяет выбрать типы событий, подлежащих регистрации, и определить, какие именно параметры будут регистрироваться.

В сетях с минимальными требованиями к безопасности подвергайте аудиту:

- успешное использование ресурсов, только в том случае, если эта информация вам необходима для планирования;
- успешное использование важной и конфиденциальной информации.

В сетях со средними требованиями к безопасности подвергайте аудиту:

- успешное использование важных ресурсов;
- удачные и неудачные попытки изменения стратегии безопасности и административной политики;
- успешное использование важной и конфиденциальной информации.

В сетях с высокими требованиями к безопасности подвергайте аудиту:

- удачные и неудачные попытки регистрации пользователей;
- удачное и неудачное использование любых ресурсов;
- удачные и неудачные попытки изменения стратегии безопасности и административной политики.

Аудит приводит к дополнительной нагрузке на систему, поэтому регистрируйте лишь события, действительно представляющие интерес.

Windows NT записывает события в три журнала.

- Системный журнал (system log) содержит сообщения об ошибках, предупреждения и другую информацию, исходящую от операционной системы и компонентов сторонних производителей. Список событий, регистрируемых в этом журнале, предопределен операционной системой и компонентами сторонних производителей и не может быть изменен пользователем. Журнал находится в файле Sysevent.evt.
- Журнал безопасности (Security Log) содержит информацию об успешных и неудачных попытках выполнения действий, регистрируемых средствами аудита. События, регистрируемые в этом журнале, определяются заданной вами стратегией аудита. Журнал находится в файле Secevent.evt.

- Журнал приложений (Application Log) содержит сообщения об ошибках, предупреждения и другую информацию, выдаваемую различными приложениями. Список событий, регистрируемых в этом журнале, определяется разработчиками приложений. Журнал находится в файле Appevent.evt.

Все журналы размещены в папке %Systemroot%\System32\Config.

При выборе событий для проведения аудита следует учитывать возможность переполнения журнала.

По умолчанию аудит выключен, и журнал безопасности не ведется.

Первый этап планирования стратегии аудита – выбор подлежащих аудиту событий в диалоговом окне Audit Policy утилиты User Manager for Domains (User Manager).

Приведем типы событий, которые могут регистрироваться.

- Logon and Logoff – регистрация пользователя в системе или выход из нее, а также установка и разрыв сетевого соединения;
- File and Object Access – доступ к папкам, файлам и принтерам, подлежащим аудиту;
- Use of User Rights – использование привилегий пользователей (кроме прав, связанных с входом и выходом из системы);
- User and Group Management – создание, изменение и удаление учетных записей пользователей и групп, а также изменения в ограничениях учетной записи;
- Security Policy Changes – изменения в привилегиях пользователей, стратегии аудита и политике доверительных отношений;
- Restart, Shutdown and System – перезапуск или выключение компьютера пользователем; возникновение ситуации, влияющей на безопасность системы;
- Process Tracking – события, которые вызывают запуск и завершение программ.

Службы безопасности Windows NT

Система безопасности Windows NT 5.0 позволяет реализовать все новые подходы к проверке подлинности пользователя и защиты данных. В ее состав входит:

- полное интегрирование с активным каталогом Windows NT 5.0 для обеспечения масштабируемого управления учетными записями в больших доменах с гибким контролем доступа и распределением административных полномочий;
- протокол проверки подлинности Kerberos версии 5 – стандарт безопасности для Internet, реализуемый как основной протокол проверки подлинности входа в сеть;
- проверка подлинности с применением сертификатов, основанных на открытых ключах;
- безопасные сетевые каналы, базирующиеся на стандарте SSL;
- файловая система с шифрованием.

Распределенные службы безопасности Windows NT 5.0 сохраняют сведения об учетных записях в активном каталоге. Достоинства активного каталога следующие.

- Учетные записи пользователей и групп можно распределить по контейнерам – подразделениям (Organization Unit, OU). Домен в рамках иерархического

пространства имен может содержать любое количество подразделений. Это позволяет организациям добиться согласования между используемыми в сети именами и структурой предприятия.

- Активный каталог поддерживает гораздо большее количество объектов и с более высокой производительностью, чем реестр. Дерево объединенных доменов Windows NT способно поддерживать существенно более сложные организационные структуры.
- Администрирование учетных записей улучшено благодаря новым графическим средствам управления активным каталогом, а также обращающимся к COM-объектам активного каталога сценариям.
- Службы тиражирования каталога поддерживают множественные копии учетных записей. Теперь обновление информации можно выполнить для любой копии учетной записи (не требуется разделения контроллеров домена на главный и резервные). Протокол Light-weight Directory Access Protocol (LDAP) и службы тиражирования обеспечивают механизмы для связи каталога Windows NT 5.0 с другими основанными на X.500 и LDAP каталогами на предприятии.

Для того чтобы обеспечить совместимость с существующими клиентами, предоставить более эффективные механизмы безопасности и сделать возможным взаимодействие в гетерогенных сетях, в Windows NT поддерживается несколько протоколов безопасности. Архитектура Windows NT не устанавливает ограничений на применение тех или иных протоколов безопасности.

Windows NT 5.0 будет поддерживать:

- протокол проверки подлинности Windows NT LAN Manager (NTLM), используемый в Windows NT 4.0 и в предыдущих версиях Windows NT;
- протокол проверки подлинности Kerberos версии 5, заменяющий NTLM в роли основного протокола для сетевого доступа к ресурсам доменов Windows NT 5.0;
- протокол распределенной проверки подлинности паролей (Distributed Password Authentication, DPA); благодаря DPA пользователь, получивший один пароль при регистрации, может подсоединиться к любому узлу Интернета, обслуживаемому данной организацией;
- протоколы, основанные на открытых ключах и применяемые в основном для связи между программами просмотра и Web-серверами. Стандартом de facto здесь стал протокол Secure Sockets Layer (SSL).

Для единообразного обращения к различным протоколам разработан новый интерфейс прикладного программирования Win32 – интерфейс поставщиков поддержки безопасности (Security Support Provider Interface, SSPI). SSPI позволяет изолировать проверку подлинности пользователя, которая может осуществляться по разным протоколам, – от применяющих ее служб и приложений. Интерфейс SSPI представляет собой несколько наборов доступных прикладным программам процедур, выполняющих:

- управление мандатами (Credential Management) – работу с информацией о клиенте (пароль, билет и т. д.);

- управление контекстом (Context Management) – создание контекста безопасности клиента;
- поддержку передачи сообщений (Message Support) – проверку целостности переданной информации (работает в рамках контекста безопасности клиента);
- управление пакетами (Package Management) – выбор протокола безопасности.

Протокол проверки подлинности Kerberos определяет взаимодействие между клиентами и службой проверки подлинности *Центром распределения ключей* (Key Distribution Center, KDC). Домен Windows NT 5.0 эквивалентен *царству Kerberos* (Kerberos realm), но будет в этой операционной системе по-прежнему называться доменом. Реализация Kerberos в Windows NT 5.0 основана на документе RFC1510. По сравнению с NTLM у протокола проверки подлинности Kerberos имеются следующие преимущества:

- более быстрое подключение клиента к серверу; поскольку сервер для проверки подлинности пользователя не должен связываться с контроллером домена, улучшена масштабируемость компьютерной сети;
- транзитивные доверительные отношения между доменами упрощают администрирование сложной сети.

В Windows NT 5.0 появится новое средство защиты информации – *файловая система с шифрованием* (Encrypted File System, EFS), позволяющая хранить файлы и папки в зашифрованном виде. Благодаря этому корпоративные и индивидуальные пользователи решат проблему возможной утечки секретной информации при краже переносного компьютера или жесткого диска из сервера. Зашифрованная информация даже в случае физического доступа к жесткому диску останется недоступной.

Интернет – это объединение в масштабе всей планеты группы сетей, которое использует единый протокол для передачи данных. Большое число организаций сейчас присоединяется к Интернету для того, чтобы воспользоваться его преимуществами и ресурсами. Бизнесмены и государственные организации используют Интернет в самых различных целях, включая обмен электронной почтой, распространение информации среди заинтересованных лиц и проведение исследований. Многие организации сегодня присоединяют существующие локальные сети к Интернету, чтобы рабочие станции этих ЛВС могли получить прямой доступ к сервисам Интернета.

Присоединение к Интернету может дать огромные преимущества, хотя при этом нужно серьезно учесть вопросы, связанные с безопасностью соединения. Существуют достаточно серьезные риски безопасности, связанные с Интернетом, которые зачастую являются неочевидными для пользователей-новичков. В частности, в мире наблюдается деятельность злоумышленников, при этом имеется много уязвимых мест, которые могут ее облегчить. Действия злоумышленников трудно предсказать и порой их бывает трудно обнаружить и прекратить. Многие организации уже потеряли много времени и понесли значительные финансовые потери из-за деятельности злоумышленников; некоторым организациям был нанесен урон их репутации, когда стало известно о проникновениях в их сети.

Рассмотрим вопросы, связанные с безопасностью, которые нужно учесть как организациям, собирающимся присоединиться к Интернету, так и организациям,

уже присоединенным к Интернету. Одним из механизмов и методов, используемых для защиты внутренних сетей от угроз, связанных с Интернетом, являются брандмауэры (межсетевые экраны) для Интернета.

Интернетовские брандмауэры часто называются в литературе безопасными интернетовскими шлюзами. Брандмауэр включает ряд элементов, таких как политика, внесение изменений в структуру сети, а также технические средства и организационные меры. Термином система брандмауэра обозначаются хосты или маршрутизаторы, реализующие брандмауэр.

Сеть, защищаемая брандмауэром, называется защищенной подсетью или защищенной ЛВС.

Некоторые люди не могут понять, следует ли рассматривать протоколы TCP/IP как протоколы или как сервисы. Можно, например, доказывать, что TELNET является протоколом, сервисом или командой. Там, где это нужно, в документе используется термин «протокол», в остальных случаях используется термин «сервис».

Прикладными шлюзами называется ряд систем брандмауэров в противоположность хостам-бастионам.

Интернет стал жизненно необходимой и постоянно растущей сетью, которая изменила образ жизнедеятельности многих людей и организаций. Тем не менее из-за Интернета возникло много серьезных проблем с безопасностью. Многие организации были атакованы или зондированы злоумышленниками. Злоумышленники часто проверяют сети организаций на возможность проникновения в них путем методического сканирования систем в них на наличие уязвимых мест. Злоумышленники часто используют средства автоматического зондирования, т. е. программы, которые сканируют все хосты, присоединенные к сети организации (эта деятельность называется иногда зондированием сети организации), что приводит к большим потерям во времени и ущербу репутации. В некоторых случаях организации вынуждены были временно отсоединиться от Интернета и потратить значительные средства для решения возникших проблем с конфигурацией хостов и сети. Сети организаций, которые неосведомлены или игнорируют эти проблемы, подвергают себя большому риску быть атакованными сетевыми злоумышленниками. Даже те организации, в которых безопасности уделяется внимание, могут подвергаться риску из-за появления новых уязвимых мест в сетевом программном обеспечении или упорства некоторых злоумышленников.

Данное положение дел сложилось по ряду причин. Одной из основных причин может быть то, что при разработке Интернета требования безопасности не учитывались, так как главным требованием при реализации Интернета было требование удобства при обмене информацией при проведении научных исследований. Тем не менее феноменальный успех Интернета в сочетании с появлением большого числа категорий пользователей, включая пользователей, у которых отсутствует понятие этики, усугубил существующие недостатки в обеспечении безопасности до такой степени, что сети, открытые для доступа со стороны Интернета, стали подвергаться риску проникновения в них и нанесения им разрушений. Другими причинами являются следующие:

- **уязвимость сервисов ТСП/ІР** – ряд сервисов ТСП/ІР являются небезопасными и могут быть скомпрометированы умными злоумышленниками; сервисы, использующиеся в ЛВС для улучшения управления сетью, особенно уязвимы;
- **легкость наблюдения за каналами и маскарада** – большинство трафика Интернета незашифровано; электронная почта, пароли и передаваемые файлы могут быть перехвачены, используя легкодоступные программы, затем злоумышленники могут использовать пароли для проникновения в системы;
- **отсутствие политики** – многие сети могут быть сконфигурированы по незнанию таким образом, что будут позволять доступ к ним со стороны Интернета, не подозревая при этом о возможных злоупотреблениях этим; многие сети допускают использование большего числа сервисов ТСП/ІР, чем это требуется для деятельности их организации, и не пытаются ограничить доступ к информации об их компьютерах, которая может помочь злоумышленникам проникнуть в сеть;
- **сложность конфигурирования** – средства управления доступом в хостах зачастую являются сложными в настройке и контроле за ними; неправильно сконфигурированные средства часто приводят к неавторизованному доступу.

К счастью, существуют простые и надежные решения, которые могут быть использованы для улучшения безопасности сети организации. Система брандмауэра является одним из способов, который доказал свою высокую эффективность при повышении общей безопасности сети. Система брандмауэра – это набор систем и маршрутизаторов, добавленных в сеть в местах ее соединения с Интернетом, и политики доступа, определяющей правила их работы. Брандмауэр заставляет все сетевые соединения проходить через шлюз, где они могут быть проанализированы и оценены с точки зрения безопасности, и предоставляет другие средства, такие как меры усиленной аутентификации вместо паролей. Кроме того, брандмауэр может ограничить доступ к тем или иным системам или доступ к Интернету от них, блокировать определенные сервисы ТСП/ІР или обеспечить другие меры безопасности. Хорошо сконфигурированная система брандмауэра может выполнять роль пресс-службы организации и помочь сформировать у пользователей Интернета хорошее впечатление об организации.

Самой простой политикой сетевого доступа, которая может быть реализована с помощью брандмауэра, является предоставление доступа от внутренних к внешним системам и запрет, полный или частичный, доступа от внешних к внутренним системам. Но использование брандмауэра не должно позволять администраторам забыть о необходимости обеспечения безопасности отдельных систем. Существует большое число средств для системных администраторов, позволяющих повысить безопасность систем и обеспечить улучшенные возможности по протоколированию. Такие средства могут проверять пароли, журналы с информацией о соединениях, обнаруживать изменения системных файлов или обеспечивать другие меры безопасности, которые помогут администраторам обнаружить деятельность злоумышленников и проникновения в их системы.

Перед присоединением к Интернету организациям необходимо разработать политику, которая бы ясно указывала, какие сервисы Интернета будут использоваться и как они будут использоваться. Эта политика должна быть простой, четкой

и понятной, со встроенными механизмами по ее изменению. Организации должны рассмотреть возможность использования систем брандмауэров как часть плана по реализации этой политики. Также рекомендуется использовать меры усиленной аутентификации: смарткарты или другие механизмы одноразовых паролей как составную часть брандмауэров при аутентификации соединений с системами сети.

Интернет – это всемирная сеть сетей, которая использует для взаимодействия стек протоколов TCP/IP. Вначале Интернет был создан для улучшения взаимодействия между научными организациями, выполнявшими работы в интересах правительства США. В течение 80-х годов к Интернету подключились образовательные учреждения, государственные организации, различные американские и иностранные фирмы. В 1990-е гг. Интернет переживает феноменальный рост, причем увеличение числа соединений превышает все темпы, имевшие место ранее. Теперь к Интернету присоединены многие миллионы пользователей, причем только половина из них – коммерческие пользователи. Сейчас Интернет используется как основа для Национальной информационной инфраструктуры (НИИ) США.

Существует ряд сервисов, связанных с TCP/IP и Интернетом. Наиболее распространенным сервисом является электронная почта, реализованная на базе протокола SMTP (простой протокол передачи писем). Также широко используются TELNET (эмуляция удаленного терминала) и FTP (протокол передачи файлов). Помимо них, существует ряд сервисов и протоколов для удаленной печати, предоставления удаленного доступа к файлам и дискам, работы с распределенными базами данных и организации других информационных сервисов. Далее приводится краткий список наиболее распространенных сервисов.

- **SMTP** – простой протокол передачи почты, используется для приема и передачи электронной почты.
- **TELNET** – используется для подключения к удаленным системам, присоединенным к сети, применяет базовые возможности по эмуляции терминала.
- **FTP** – протокол передачи файлов, используется для приема или передачи файлов между системами в сети.
- **DNS** – служба сетевых имен, используется TELNET, FTP и другими сервисами для трансляции имен хостов в IP-адреса.
- **Информационные сервисы, такие как:**
 - **gopher** – средство поиска и просмотра информации с помощью системы меню, которое может обеспечить дружественный интерфейс к другим информационным сервисам.
 - **WAIS** – глобальный информационный сервис, используется для индексирования и поиска в базах данных файлов.
 - **WWW/http** – Всемирная паутина, объединение FTP, gopher, WAIS и других информационных сервисов, использующее протокол передачи гипертекста (http), и программы Netscape, Microsoft Internet Explorer и Mosaic в качестве клиентских программ.
- **Сервисы на основе RPC** – сервисы на основе удаленного вызова процедур, такие как:

- NFS – сетевая файловая система, позволяет системам совместно использовать директории и диски, при этом удаленная директория или диск кажутся находящимися на локальной машине;
- NIS – сетевые информационные сервисы, позволяют нескольким системам совместно использовать базы данных, например файл паролей, для централизованного управления ими.
- Система X Windows – графическая оконная среда и набор прикладных библиотек, используемых на рабочих станциях.
- rlogin, rsh и другие r-сервисы – реализуют концепцию доверяющих друг другу хостов, позволяют выполнять команды на других компьютерах, не вводя пароль.

Хотя сервисы TCP/IP могут в равной степени использоваться как в локальных сетях, так и в глобальных сетях, в локальных сетях, как правило, применяется совместное использование файлов и принтеров, а электронная почта и удаленный терминальный доступ – в обоих случаях. С каждым годом возрастает популярность gopher и www. Оба этих сервиса приводят к возникновению проблем для разработчиков брандмауэров.

На многих системах, подключенных к Интернету, работает одна из версий ОС Unix. Впервые TCP/IP был реализован в начале 1980-х гг. в версии Unix, написанной в университете в Калифорнии в Беркли, известной как BSD (Berkeley Software Distribution). Многие современные версии Unix позаимствовали тексты сетевых программ из этой версии, поэтому Unix обеспечивает более или менее стандартный набор сервисов TCP/IP. Это привело к тому, что различные версии Unix имеют одни и те же уязвимые места, правда, это также привело к целесообразности широкого применения стратегий брандмауэров, таких как фильтрация IP. Следует отметить, что исходные тексты BSD UNIX можно легко получить в ряде интернетовских серверов, поэтому как хорошие, так и плохие люди могут изучить тексты программ, найти в них потенциально уязвимые места и использовать их для проникновения.

Хотя Unix и является наиболее распространенной ОС в Интернете, к ней присоединено много различных типов компьютеров с другими ОС, включая системы с DEC VMS, NeXT, MVS и ОС персональных компьютеров, такие как DOS, Microsoft Windows, Windows'95, Windows NT и Apple. Хотя персональные компьютеры обеспечивают только клиентскую часть сервисов, т. е., используя TELNET, можно подключиться с персонального компьютера, но не к персональному компьютеру, все возрастающая мощность ПЭВМ начинает также обеспечивать предоставление тех же сервисов, которые сейчас предоставляются большими компьютерами, только гораздо дешевле. Версии Unix для ПЭВМ, включая Linux, FreeBSD и BSDi, а также другие ОС, такие как Microsoft Windows NT, могут сейчас обеспечить те же самые сервисы и приложения, которые ранее были только на больших системах. Следствием этого является то, что сейчас полный набор сервисов TCP/IP используется небывалым количеством людей. Хотя это и хорошо в том смысле, что сетевые сервисы стали общедоступны, отрицательные последствия заключаются в возникновении огромных возможностей для совершения преступлений у злоумышленников (а также у неграмотных пользователей, которые в некоторых случаях могут рассматриваться как вид злоумышленников).

Как было установлено ранее, Интернет страдает от серьезных проблем с безопасностью. Организации, которые игнорируют эти проблемы, подвергают себя значительному риску из-за того, что они будут атакованы злоумышленниками и что могут стать стартовой площадкой при атаках на другие сети. Даже те организации, которые заботятся о безопасности, имеют те же самые проблемы из-за появления новых уязвимых мест в сетевом программном обеспечении (ПО) и отсутствия мер защиты от некоторых злоумышленников.

Некоторые из проблем безопасности в Интернете – результат наличия уязвимых мест из-за ошибок при проектировании в службах (и в протоколах, их реализующих), в то время как другие – результат ошибок при конфигурировании хоста или средств управления доступом, которые или плохо установлены, или настолько сложны, что с трудом поддаются администрированию. Кроме того, роль и важность администрирования системы часто упускается при описании должностных обязанностей сотрудников, что приводит к тому, что большинство администраторов в лучшем случае нанимается на неполный рабочий день и плохо подготовлено. Это усугубляется быстрым ростом Интернета и характера использования Интернета; государственные и коммерческие организации теперь зависят от Интернета (иногда даже больше, чем они думают) при взаимодействии с другими организациями и в исследованиях и поэтому понесут большие потери при атаках на их хосты.

В доказательство того, что описанные выше угрозы реальны, приведем три группы инцидентов, которые имели место в течение нескольких месяцев друг после друга. Сначала началось широкое обсуждение обнаруженных уязвимых мест в программе UNIX sendmail (это транспортная почтовая программа на большинстве хостов с Unix. Это очень большая и сложная программа, и в ней уже несколько раз были найдены уязвимые места, которые позволяют злоумышленнику получить доступ в системы, в которых запущена sendmail). Организациям, которые не имели исправленных версий программы, пришлось срочно исправлять эти ошибки в своих программах sendmail до того, как злоумышленники используют эти уязвимые места для атаки на их сети. Тем не менее из-за сложности программы sendmail и сетевого ПО в целом три последующие версии sendmail также содержали ряд уязвимых мест. Программа sendmail широко использовалась, поэтому организациям без брандмауэров, для того чтобы ограничить доступ к этой программе, пришлось быстро реагировать на возникавшие проблемы и обнаруживаемые уязвимые места.

Во-вторых, обнаружилось, что популярная версия свободно распространяемого FTP-сервера содержала «троянского коня», позволявшего получить привилегированный доступ к серверу. Организациям, использовавшим этот FTP-сервер, не обязательно зараженную версию, также пришлось быстро реагировать на эту ситуацию. Многие организации полагаются на хорошее качество свободного ПО, доступного в Интернете, особенно на ПО в области безопасности с дополнительными возможностями по протоколированию, управлению доступом и проверке целостности, которое не входит в состав ОС, поставляемой ее производителем. Хотя это ПО часто очень высокого качества, организации могут оказаться в тяжелом положении, если в ПО будут найдены уязвимые места или с ним возникнут другие проблемы, и орга-

низации должны будут полагаться только на его авторов. (Справедливости ради стоит отметить, что даже ПО, сделанное производителем ОС, может страдать от таких же проблем и его исправление может оказаться более продолжительным.)

Третья проблема имела самые серьезные последствия: стало известно, что злоумышленники проникли в тысячи систем во всем Интернете, включая шлюзы между большими сетями, и установили анализаторы пакетов для перехвата в сетевом трафике имен пользователей и статических паролей, вводимых пользователями для подключения к сетевым системам. Злоумышленники также использовали другие известные технологии для проникновения в системы, а также перехваченные ими пароли. Одним из выводов, которые можно поэтому сделать, является то, что статические или повторно используемые пароли не должны использоваться для управления доступом. Фактически пользователь, подключающийся к сетевой системе через Интернет, может неумышленно подвергнуть эту систему риску быть атакованной злоумышленниками, которые могли перехватить сетевой трафик, идущий к этой удаленной системе.

Группы улаживания инцидентов считают, что большинство инцидентов произошло из-за использования слабых, статических паролей. Пароли в Интернете могут быть «взломаны» рядом способов, но двумя самыми распространенными являются взлом зашифрованной формы пароля и наблюдение за каналами передачи данных с целью перехвата пакетов с паролями. ОС Unix обычно хранит пароли в зашифрованной форме в файле, который может быть прочитан любым пользователем. Этот файл паролей может быть получен простым копированием его или одним из других способов, используемых злоумышленниками. Как только файл получен, злоумышленник может запустить легкодоступные программы взлома паролей для этого файла. Если пароли слабые, т. е. меньше чем 8 символов, являются словами и т. д., то они могут быть взломаны и использованы для получения доступа к системе.

Другая проблема с аутентификацией возникает из-за того, что некоторые службы TCP и UDP могут аутентифицировать только отдельный хост, но не пользователя. Например, сервер NFS(UDP) не может дать доступ отдельному пользователю на хосте, он может дать его всему хосту. Администратор сервера может доверять отдельному пользователю на хосте и дать ему доступ, но администратор не может запретить доступ других пользователей на этом хосте и поэтому автоматически должен предоставить его всем пользователям или не давать его вообще.

Следует отметить, что когда пользователь установил сеанс с удаленным хостом, используя TELNET или FTP, то пароль пользователя передается по Интернету в незашифрованном виде. Поэтому другим способом проникновения в системы является наблюдение за соединением с целью перехвата IP-пакетов, содержащих имя и пароль, и последующее использование их для нормального входа в систему. Если перехваченный пароль является паролем администратора, то задача получения привилегированного доступа становится гораздо легче. Как уже ранее отмечалось, сотни и даже тысячи систем в Интернете были скомпрометированы в результате перехвата имен и паролей.

Электронная почта, а также содержимое сеансов TELNET и FTP, может перехватываться и использоваться для получения информации об организации и ее взаимодействии с другими организациями в ходе повседневной деятельности. Большинство пользователей не шифрует почту, так как многие полагают, что электронная почта безопасна и с ее помощью можно передавать критическую информацию.

Система X Windows, становящаяся все более популярной, также уязвима для перехвата данных. X позволяет открывать несколько окон на рабочей станции для работы с графическими и мультимедийными приложениями (например, WWW-браузером Netscape). Злоумышленники могут иногда открывать окна на других системах и перехватывать текст, набираемый на клавиатуре, который может содержать пароли и критическую информацию.

Предполагается, что IP-адрес хоста правильный, и службы TCP и UDP поэтому будут доверять ему. Проблема заключается в том, что, используя маршрутизацию IP-источника, хост атакующего может замаскироваться под доверенного хоста или клиента. Коротко говоря, маршрутизация IP-источника – это опция, с помощью которой можно явно указать маршрут к назначению и путь, по которому пакет будет возвращаться к отправителю. Этот путь может включать использование других маршрутизаторов или хостов, которые в обычных условиях не используются при передаче пакетов к назначению. Рассмотрим следующий пример того, как это может быть использовано для маскировки системы атакующего под доверенного клиента какого-то сервера.

1. Атакующий меняет IP-адрес своего хоста на тот, который имеет доверенный клиент.
2. Атакующий создает маршрут для маршрутизации источника к этому серверу, в котором явно указывает путь, по которому должны передаваться IP-пакеты к серверу и от сервера к хосту атакующего, и использует адрес доверенного клиента как последний промежуточный адрес в пути к серверу.
3. Атакующий посылает клиентский запрос к серверу, используя опцию маршрутизации источника.
4. Сервер принимает клиентский запрос, как если бы он пришел от доверенного клиента, и возвращает ответ доверенному клиенту.
5. Доверенный клиент, используя опцию маршрутизации источника, переправляет пакет к хосту атакующего.

Многие хосты Unix принимают пакеты с маршрутизацией источника и будут передавать их по пути, указанному в пакете. Многие маршрутизаторы также принимают пакеты с маршрутизацией источника, в то время как некоторые маршрутизаторы могут быть сконфигурированы таким образом, что будут блокировать такие пакеты.

Еще более простым способом маскировки под клиента является ожидание того момента времени, когда клиентская система будет выключена, и последующая маскировка под нее. Во многих организациях сотрудники используют персональные ЭВМ с сетевой математикой TCP/IP для подключения к хостам с Unix и используют машины с Unix как серверы ЛВС. ПЭВМ часто используют NFS для получения доступа к директориям и файлам на сервере (NFS использует только

IP-адреса для аутентификации клиентов). Атакующий может сконфигурировать по окончании работы свой ПЭВМ таким образом, что он будет иметь то же самое имя и IP-адрес, что и другая машина, а затем инициировать соединение с Unix-ским хостом, как если бы он был доверенным клиентом. Это очень просто сделать и именно так поступают атакующие – сотрудники организации.

Электронную почту в Интернете особенно легко подделать, и ей вообще нельзя доверять, если в ней не применяются расширения, такие как электронная подпись письма. Например, давайте рассмотрим взаимодействие между хостами Интернета при обмене почтой. Взаимодействие происходит с помощью простого протокола, использующего текстовые команды. Злоумышленник может легко ввести эти команды вручную, используя TELNET для установления сеанса с портом SMTP (простой протокол передачи почты). Принимающий хост доверяет тому, что заявляет о себе хост-отправитель, поэтому можно легко указать ложный источник письма, введя адрес электронной почты как адрес отправителя, который будет отличаться от истинного адреса. В результате любой пользователь, не имеющий никаких привилегий, может фальсифицировать электронное письмо.

В других сервисах, таких как DNS, также можно замаскироваться под другую машину, но сделать это несколько сложнее, чем для электронной почты. Для этих сервисов до сих пор существуют угрозы, и их надо учитывать тому, кто собирается пользоваться ими.

Хосты тяжело поддерживать в безопасном состоянии и это занимает много времени. Для упрощения управления хостами и большего использования преимуществ ЛВС некоторые организации используют такие сервисы, как NIS (Network Information Service) и NFS (Network File System). Эти сервисы могут сильно уменьшить время на конфигурирование хостов, позволяя управлять рядом баз данных, таких как файлы паролей, с помощью удаленного доступа к ним, обеспечивая возможность совместного использования файлов и данных. К сожалению, эти сервисы небезопасны по своей природе и могут использоваться грамотными злоумышленниками для получения доступа. Если взломан центральный сервер, то другие системы, доверяющие центральной системе, также могут быть легко взломаны.

Некоторые сервисы, такие как rlogin, позволяют хостам «доверять» друг другу для удобства работы пользователей и облегчения совместного использования систем и устройств. Если в систему было совершено проникновение или ее обманули с помощью маскарда, и этой системе доверяют другие системы, то для злоумышленника не составит труда получить доступ к другим системам. Например, пользователь, зарегистрированный на нескольких машинах, может избавиться от необходимости вводить пароль, сконфигурировав себя на этих машинах так, что они будут доверять подключению с основной системы пользователя. Когда пользователь использует rlogin для подключения к хосту, машина, к которой подключаются, не будет спрашивать пароль, а подключение будет просто разрешено. Хотя это и не так уж плохо, так как пароль пользователя не передается и не сможет быть перехвачен, это имеет тот недостаток, что если злоумышленник проникнет на основную машину под именем пользователя, он легко сможет воспользоваться rlogin

для проникновения в учетные записи пользователя на других системах. По этой причине использование взаимного доверия хостов друг к другу не рекомендуется.

Системы управления доступом в хостах часто сложны в настройке, и тяжело проверить, правильно ли они работают. В результате неправильно сконфигурированные меры защиты могут привести к проникновению злоумышленников. Несколько крупных производителей Unix все еще продают свои системы с системой управления доступом, сконфигурированной так, что пользователям предоставлен максимальный (т. е. наименее безопасный) доступ, который может привести к неавторизованному проникновению, если не будет произведена переконфигурация.

Ряд инцидентов с безопасностью произошел в Интернете отчасти из-за того, что злоумышленники обнаружили уязвимые места (позднее их обнаружили пользователи, группы компьютерной безопасности и сами производители). Так как большая часть современных вариантов Unix позаимствовала свой сетевой код из версии BSD, и так как исходный код этой версии широко доступен, злоумышленники смогли изучить его на предмет ошибок и условий, при которых их можно использовать для получения доступа к системам. Отчасти ошибки появляются из-за сложности программ и невозможности проверить их во всех средах, в которых они должны работать. Иногда ошибки легко обнаруживаются и исправляются, но бывает и так, что надо, как минимум, переписать все приложение, что является последним средством (программа sendmail тому пример).

Безопасность на уровне хостов плохо масштабируется: по мере того как возрастает число хостов в сети, возможности по обеспечению гарантий безопасности на высоком уровне для каждого хоста уменьшаются. Учитывая то, что администрирование даже одной системы для поддержания безопасности в ней может оказаться сложным, управление большим числом таких систем может легко привести к ошибкам и упущениям. Важно также помнить, что зачастую важность работы системных администраторов недооценивается и эта работа выполняется кое-как. В результате некоторые системы могут оказаться менее безопасными, чем другие, и именно эти системы станут слабым звеном, которое в конечном счете приведет к появлению уязвимого места в системе безопасности.

Если обнаруживается уязвимость в сетевом ПО сети, которая не защищена брандмауэром, нужно срочно исправить ошибку на всех системах, где она обнаружена. Некоторые уязвимые места позволяют получить легкий доступ с правами суперпользователя Unix. Организация, имеющая много Unix-хостов, будет особенно уязвима к атакам злоумышленников в такой ситуации. Устранение уязвимых мест на многих системах за короткий промежуток времени является очень трудным, и если используются различные версии ОС, может оказаться вообще невозможным. Такие сети будут просто-таки напрашиваться на атаки злоумышленников.

Ряд служб TCP и UDP плохо обеспечивает безопасность в современной среде в Интернете. При миллионах пользователей, подключенных к Интернету, и при том, что правительства и промышленность зависят от Интернета, недостатки в этих службах, а также легкодоступность исходного кода и средств для автоматизации проникнове-

ния в системы могут сделать сети уязвимыми к проникновениям в них. Тем не менее настоящий риск при использовании Интернета трудно оценить, и непросто сказать, насколько уязвима сеть к атакам злоумышленников. Такая статистика не ведется.

Координационный Центр по групповому расследованию происшествий с компьютерной безопасностью (CERT/CC) ведет некоторую статистику о числе инцидентов, которые расследовали сотрудники центра после его создания в 1988 г. Числа в этой статистике увеличиваются скачкообразно каждый год, но следует помнить, что и число машин в Интернете также растет. В некоторых случаях CERT считает несколько проникновений одного и того же типа одним происшествием, поэтому одно происшествие может состоять из нескольких сотен проникновений в ряд систем. Трудно сказать, насколько пропорционально число инцидентов и число проникновений. Эта проблема также осложняется тем, что чем больше людей знают о существовании групп по расследованию инцидентов, тем больше вероятность того, что они сообщат о происшествии, поэтому на самом деле непонятно, то ли происходит все больше происшествий, то ли сообщается о все большем их проценте.

Следующие факторы могут повлиять на уровень риска атаки:

- число систем в сети;
- какие службы используются в сети;
- каким образом сеть соединена с Интернетом;
- профиль сети, или насколько известно о ее существовании;
- насколько готова организация к улаживанию инцидентов с компьютерной безопасностью.

Чем больше систем в сети, тем труднее контролировать их безопасность. Аналогично, если сеть соединена с Интернетом в нескольких местах, она будет более уязвима, чем сеть с одним шлюзом. В то же самое время то, насколько готова к атаке организация, или то, насколько она зависит от Интернета, может увеличить или уменьшить риск. Сеть, имеющая привлекательный для злоумышленников профиль, может подвергнуться большему числу атак с целью получения информации, хранящейся в ней. Хотя, стоит сказать, что «молчаливые», мало посещаемые сети также привлекательны для злоумышленников, так как им легче будет скрыть свою активность.

Сети, которые используют рекомендованные процедуры и меры защиты для повышения компьютерной безопасности, будут подвергаться значительно меньшему риску атак. Брандмауэры в сочетании с одноразовыми паролями, которые устойчивы к перехвату, могут увеличить общий уровень безопасности сети и сделать использование Интернета достаточно безопасным.

Можно найти решение ряда проблем с безопасностью в Интернете или, по крайней мере, сделать их менее опасными, если использовать существующие и хорошо известные технологии и меры защиты на уровне хостов. Брандмауэр может значительно повысить уровень безопасности сети организации и сохранить, в то же время, доступ ко всем ресурсам в Интернете.

Брандмауэр – это не просто маршрутизатор, хост или группа систем, которые обеспечивают безопасность в сети. Скорее, брандмауэр – это подход к безопасности; он помогает реализовать политику безопасности, которая определяет разрешенные

службы и типы доступа к ним, и является реализацией этой политики в терминах конфигурации сети, нескольких хостов и маршрутизаторов и других мер защиты, таких как усиленная аутентификация вместо статических паролей. Основная цель системы брандмауэра – управление доступом к или из защищаемой сети. Он реализует политику сетевого доступа, заставляя проходить все соединения с сетью через брандмауэр, где они могут быть проанализированы и разрешены либо отвергнуты.

Система брандмауэра может быть маршрутизатором, персональным компьютером, хостом или группой хостов, созданной специально для защиты сети или подсети от неправильного использования протоколов и служб хостами, находящимися вне этой подсети. Обычно система брандмауэра создается на основе маршрутизаторов верхнего уровня, чаще всего тех, которые соединяют сеть с Интернетом, хотя она может быть создана и на других маршрутизаторах для защиты только части хостов или подсетей.

Основной причиной использования брандмауэров является тот факт, что без брандмауэра системы подсети подвергаются опасности использования уязвимых мест служб, таких как сетевые файловые системы NFS и NIS, или сканирования и атак со стороны хостов в Интернете. В среде без брандмауэра сетевая безопасность целиком зависит от безопасности хостов, и все хосты должны в этом случае взаимодействовать для достижения одинаково высокого уровня безопасности. Чем больше подсеть, тем труднее поддерживать все хосты на одном уровне безопасности. Ошибки и упущения в безопасности стали распространенными, проникновения происходят не в результате хитроумных атак, а из-за простых ошибок в конфигурировании и угадываемых паролей.

Подход с использованием брандмауэра имеет многочисленные преимущества для сетей и помогает повысить безопасность хостов.

Брандмауэр может значительно повысить сетевую безопасность и уменьшить риски для хостов в подсети путем фильтрации небезопасных по своей природе служб. В результате подсеть будет подвергаться гораздо меньшему числу опасностей, так как через брандмауэр смогут пройти только безопасные протоколы.

Например, брандмауэр может запретить, чтобы такие уязвимые службы, как NFS, использовались вне подсети. Это позволяет защититься от использования этих служб посторонними атакующими, но продолжать использовать их внутри сети, не подвергаясь особой опасности. Поэтому можно будет спокойно использовать такие удобные службы, как NFS и NIS, специально разработанные для уменьшения затрат на администрирование в локальной сети.

Брандмауэры также могут обеспечить защиту от атак с использованием маршрутизации, таких как маршрутизация источника, и попыток изменить маршруты передачи данных с помощью команд перенаправления ICMP. Брандмауэр может заблокировать все пакеты с маршрутизацией источника и перенаправления ICMP, а затем информировать администраторов об инцидентах.

Брандмауэр также предоставляет возможности по управлению доступом к хостам сети. Например, некоторые хосты могут быть сделаны доступными из внешних сетей, в то время как доступ к другим системам извне будет запрещен. Сеть

может запретить доступ к своим хостам извне, за исключением особых случаев, таких как почтовые серверы или информационные серверы.

Эти свойства брандмауэров требуются при политике управления доступом, построенной по принципу: не предоставлять доступ к хостам или службам, к которым доступ не требуется. Другими словами, зачем давать доступ к хостам и службам, которые могут использоваться атакующими, когда на самом деле он не нужен или не требуется? Если, например, пользователю не нужно, чтобы кто-то в сети мог получить доступ к его рабочей станции, то брандмауэр, как раз, и может реализовать этот вид политики.

Брандмауэр может, на самом деле, оказаться недорогим для организации из-за того, что большинство или все изменения в программах и дополнительные программы по безопасности будут установлены на системе брандмауэра, а не распределены по большому числу хостов. В частности, системы одноразовых паролей и другие дополнительные программы усиленной аутентификации могут быть установлены только на брандмауэре, а не на каждой системе, которой нужно обращаться к Интернету.

Другие подходы к сетевой безопасности требуют модификации программ на каждой системе в сети. Поэтому, хотя и эти технологии также должны рассматриваться из-за их преимуществ, и могут оказаться более подходящими, чем брандмауэры в определенных ситуациях, но все-таки брандмауэры проще в реализации, так как специальные программы требуются только на брандмауэре.

Конфиденциальность очень важна для некоторых организаций, так как то, что обычно считается безобидной информацией, может на самом деле содержать полезные подсказки для атакующего. Используя брандмауэр, некоторые сети могут заблокировать такие службы, как finger и доменную службу имен. Finger дает информацию о пользователях, такую как время последнего сеанса, читалась ли почта, и другие данные. Но finger может дать атакующему информацию о том, как часто используется система, работают ли сейчас в этой системе пользователи и может ли быть система атакована, без привлечения внимания.

Брандмауэры также могут быть использованы для блокирования информации DNS о системах сети, поэтому имена и IP-адреса хостов в сети не станут известны хостам в Интернете. Некоторые организации уже убедились в том, что, блокируя эту информацию, они скрывают ту информацию, которая была бы полезна для атакующего.

Если весь доступ к Интернету и из Интернета осуществляется через брандмауэр, то брандмауэр может протоколировать доступ и предоставлять статистику об использовании сети. При правильно настроенной системе сигналов о подозрительных событиях (alarm) брандмауэр может дать детальную информацию о том, были ли брандмауэр или сеть атакованы или зондированы.

Важно собирать статистику использования сети и доказательства зондирования по ряду причин. Прежде всего, нужно знать наверняка, что брандмауэр устойчив к зондированию и атакам, и определить, адекватны ли меры защиты брандмауэра. Кроме того, статистика использования сети важна в качестве исходных данных при проведении исследований для формулирования требований к сетевому оборудованию и программам, и анализе риска.

И наконец, самое важное – брандмауэр предоставляет средства реализации и претворения в жизнь политики сетевого доступа. Фактически брандмауэр обеспечивает управление доступом для пользователей и служб. Поэтому политика сетевого доступа может быть реализована с помощью брандмауэра, в то время как без него такая политика зависит целиком от доброй воли пользователей. Организация может зависеть от своих пользователей, но не должна зависеть от доброй воли всех пользователей Интернета.

Рассмотрим схему построения ГИС с выходом в Internet. Она достаточно типична и состоит из нескольких элементов.

- Web-сервер, представляющий картографическую информацию (т. н. Geb-сервер).
- Сервер баз данных, содержащий всю картографическую информацию и передающий ее на Geb-сервер.
- Программное обеспечение, осуществляющее взаимодействие между Geb-сервером и сервером баз данных.

Клиент, желающий просмотреть ту или иную карту, обращается к Geb-серверу при помощи обычного браузера Microsoft Internet Explorer или Netscape Communicator. Перечислим основные угрозы, которые подстерегают учебное заведение, использующее ГИС.

- Подмена страницы Geb-сервера. Основной способ реализации этой угрозы – переадресация запросов пользователей на другой сервер. Делается это путем замены записей в таблицах DNS-серверов или в таблицах маршрутизаторов. Наибольшей опасности данная угроза достигает, когда заказчик вводит аутентифицирующую его информацию для доступа к защищенным разделам Geb-сервера.
- Создание ложной картографической информации. Проникновение в базу данных и изменение процедур обработки пространственных данных позволяет как внешним, так и внутренним злоумышленникам осуществлять различные несанкционированные манипуляции с базой данных.
- Перехват данных, передаваемых между различными элементами ГИС.
- Проникновение во внутреннюю сеть предприятия, реализующего услуги ГИС, и взлом ее элементов.
- Реализация атак типа «отказ в обслуживании» («denial of service») и нарушение функционирования или выведение из строя узла ГИС.

Комплексная система защиты информации должна строиться с учетом четырех уровней любой информационной системы, в том числе и геоинформационной системы.

- Уровень прикладного программного обеспечения (ПО), отвечающий за взаимодействие с пользователем. В качестве примеров элементов ИС, работающих на этом уровне, можно назвать текстовый редактор, редактор электронных таблиц, почтовую программу, браузер и т. д.
- Уровень системы управления базами данных (СУБД), отвечающий за хранение и обработку данных информационной системы. В качестве примеров элементов ИС, работающих на этом уровне, можно назвать СУБД Oracle, MS Access.

- Уровень операционной системы (ОС), отвечающий за обслуживание СУБД и прикладного программного обеспечения. В качестве примеров элементов ИС, работающих на этом уровне, можно назвать ОС Microsoft Windows NT, 2000.
- Уровень сети, отвечающий за взаимодействие узлов информационной системы. В качестве примеров элементов ИС, работающих на этом уровне, можно назвать протоколы TCP/IP.

Система защиты должна эффективно функционировать на всех этих уровнях, иначе злоумышленник сможет реализовать ту или иную атаку на ресурсы ГИС. Например, для получения несанкционированного доступа к информации о координатах карт в базе данных ГИС злоумышленники могут попытаться реализовать одну из следующих возможностей.

- Прочитать записи БД из MS Query, который позволяет получать доступ к записям многих СУБД при помощи механизма ODBC или SQL-запросов (уровень прикладного ПО).
- Прочитать нужные данные средствами самой СУБД (уровень СУБД).
- Прочитать файлы базы данных непосредственно на уровне операционной системы.
- Отправить по сети пакеты со сформированными запросами на получение необходимых данных от СУБД или перехватить эти данные в процессе их передачи по каналам связи (уровень сети).

Этот пример лишний раз подтверждает тезис о необходимости построения комплексной системы защиты, эффективно работающей на всех этих уровнях. Однако, как показывает опыт, основное внимание уделяется только нижним двум уровням – уровню сети и операционной системы. На уровне сети применяются маршрутизаторы и межсетевые экраны. На уровне ОС – встроенные средства разграничения доступа. Однако этих средств недостаточно.

Представим, что злоумышленник получил идентификатор и пароль пользователя базы данных. Сделать это достаточно просто: или перехватить их в процессе передачи по сети, или подобрать при помощи специальных программ, свободно лежащих в сети Интернет. И межсетевой экран, и операционная система пропускают злоумышленника ко всем ресурсам, потому что им были предъявлены идентификатор и пароль авторизованного пользователя. И это не недостаток реализованных механизмов, а просто особенность их функционирования, с которой ничего нельзя поделать. Нужны новые средства и механизмы защиты. Одним из таких механизмов является обнаружение атак. Особенность этих средств в том, что они с одинаковой эффективностью функционируют как внутри сети, защищая от внутренних злоумышленников, так и снаружи, защищая от внешних несанкционированных воздействий (в том числе эти средства позволяют своевременно обнаруживать и блокировать сетевые атаки типа «отказ в обслуживании», направленные на нарушение работоспособности Web-сервера).

Применение совокупности различных средств защиты на всех уровнях ГИС позволит построить эффективную и надежную систему обеспечения информационной безопасности геоинформационной системы. Такая система будет стоять на страже

интересов и пользователей, и компании-провайдера ГИС-услуг. Она позволит снизить, а во многих случаях и полностью предотвратить возможный ущерб от атак на компоненты и ресурсы системы обработки картографической информации.

Говоря о защите информации в ГИС, необходимо учитывать три уровня функционирования ГИС: ГИС на отдельном компьютере, работа с ГИС в локальной сети и работа с ГИС в глобальной сети. Защита данных на этих уровнях имеет свои особенности.

При работе на одном компьютере необходимо обеспечить физическую его защиту и администрирование учетных записей.

К физическим средствам защиты относится:

- обеспечение безопасности помещений, где размещены серверы сети;
- ограничение посторонним лицам физического доступа к серверам, концентраторам, коммутаторам, сетевым кабелям и другому оборудованию;
- использование средств защиты от сбоев электросети.

При администрировании учетных записей необходимо учитывать учетные записи пользователей, групп и доменов.

При работе в Интернете необходимо применять межсетевые экраны, обеспечивать своевременную смену паролей, копирование информации на удаленный сервер и регулярно проверять сеть на вирусы.

7.4. Алгоритмы защиты цифровой пространственной информации

Основной составляющей ГИС является цифровая карта. Цифровые топографические основы отличает высокая себестоимость работ по их созданию. Следовательно, возникает вопрос об авторских правах на цифровые карты. Карты, как и другая информация, как правило, являются интеллектуальной собственностью их создателя. Высокой ценностью обладает тематическая информация цифровых карт, используемая в ГИС. Очевидно, что содержание цифровых карт, которые используются в военных целях, также не является информацией общего пользования. Картографические данные, несущие определенную коммерческую информацию, имеющую ценность для коммерческих организаций, использующих ГИС, требуют ограничения доступа к ним.

Широкое применение сетевых технологий при работе с ГИС имеет немало преимуществ. Это одновременный доступ к цифровым картам, возможность обращения к картографическим базам данных, обмен данными без использования автономных носителей и т. п. Но наравне с преимуществами имеются и недостатки. Возрастает возможность утечки данных из корпоративной сети, несанкционированного доступа к конфиденциальной картографической информации.

В связи с вышесказанным достаточно актуальной стала проблема защиты цифровых карт и картографических баз данных от несанкционированного доступа и пиратского копирования. Программно-аппаратные решения данной проблемы существуют, но и они не являются универсальными. Таким образом, на сегодняшний день среди различных источников, связанных с защитой информации, выделяют два основных способа защиты цифровых карт: с помощью встроенных средств ГИС, а также программных и аппаратных решений сторонних производителей.

Очевидно, что если бы производители ГИС решали данную проблему в рамках программных продуктов, то это было бы наиболее удобным решением для пользователя. Но, к сожалению, разработчики не всегда предусматривают подобные механизмы защиты цифровых карт в своих системах. В настоящее время использование специализированных продуктов сторонних производителей является, пожалуй, единственным серьезным решением данной проблемы.

На сегодняшний день самый распространенный вид программно-аппаратной защиты данных – электронные ключи. Данные устройства позволяют защищать цифровую карту (т. е. файлы, из которых она состоит) с помощью специальных алгоритмов шифрования. Этот ключ в дальнейшем передается пользователю.

Данный метод эффективен, но защищать свои данные подобным методом могут только крупные компании, создающие и распространяющие ГИС-данные. Эти компании могут позволить себе заказать производство электронных ключей для всего объема данных. Для небольших же компаний программный метод подходит лучше, так как, купив программу, они могут распространять защищенные ГИС-данные без дополнительных устройств.

Чтобы обеспечить защиту картографической информации, можно предложить простой, но эффективный алгоритм искажения метрики.

С помощью генератора псевдослучайных чисел в пределах содержащего прямоугольника цифровой карты генерируется определенное количество случайных точек. Генерируемая последовательность псевдослучайных чисел зависит от ряда величин – параметров генератора. Эти величины могут быть получены детерминированным алгоритмом из пароля.

На цифровой карте на сгенерированных точках строится триангуляция Делоне.

В каждой вершине триангуляции вычисляется псевдослучайный вектор смещения. При этом диапазон возможных значений данного вектора определяется свойствами триангуляции в данной точке, чтобы достичь обратимости полученного преобразования и соответствия условию визуального сходства исходной и искаженной карты.

Каждая вершина переносится на величину своего вектора смещения, в результате чего получается новая триангуляция. Все точки исходной карты, задающие положение объектов на ней, попадающие в некоторый треугольник исходной триангуляции, линейной интерполяцией переносятся в соответствующий треугольник новой триангуляции.

В результате данного процесса получаем искаженную цифровую карту.

Для обратного преобразования предлагается следующий метод.

На основе пароля определяются параметры генерации вершин триангуляции и их смещений, которые использовались в процедуре искажения карты.

На цифровой карте на данных точках строится та же исходная триангуляция Делоне, что и при искажении.

В каждой вершине триангуляции вычисляется тот же вектор смещения, что и при искажении. Каждая вершина переносится на величину своего вектора смещения, в результате чего получается триангуляция, которая является искаженной по отношению к исходной.

В каждой вершине искаженной триангуляции вектор смещения заменяется на обратный. Все точки искаженной карты, задающие положение объектов на ней, попадающие в некоторый треугольник искаженной триангуляции, линейной интерполяцией переносятся в соответствующий треугольник исходной триангуляции.

В результате данного процесса восстанавливаем исходную цифровую карту.

То есть процесс искажения карты отличается от процесса ее восстановления заменой исходной триангуляции на искаженную и вектора смещения на противоположный. Это возможно потому, что используемое преобразование является кусочно-линейным. Даже если несанкционированному пользователю известен алгоритм искажения и истинные координаты некоторых искаженных точек, он не сможет восстановить все параметры кусочно-линейного преобразования, т.к. их нельзя однозначно определить по множеству примеров приемлемого размера.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается сертификация цифровых карт?
2. Что такое система классификации и кодирования картографической информации?
3. Каковы основные требования к созданию цифровых карт?
4. От чего необходимо защищать геопространственные данные?
5. Каким угрозам подвергаются геоданные в глобальных сетях?
6. Нарисуйте схему алгоритма защиты информации на основе триангуляции Делоне.

Литература

1. Александров В. Н., Базина М. А., Журкин И. Г., Корнилова В. В., Плешков В. Г., Побединский Г. Г., Ребрый А. В., Тимкина О. В. Справочник стандартных и употребляемых (распространенных) терминов по геодезии, топографии, геоинформационным системам, пространственным данным – М.: Братишка, 2007. – 736 с.
2. Журкин И. Г., Шавенько Н. К. Автоматизация обработки аэрокосмических изображений: Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 1989.
3. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.
4. Ковальчук А. К., Шайтура С. В. Основы геоинформационных систем: Учебное пособие. Гриф УМО информационных систем и технологий. – М.: МГОУ, 2006.
5. Кошкарев А. В., Тикунов В. С. Геоинформатика. – М.: Картгеоцентр – «Геодезиздат», 1993.
6. Лурье И. И. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформационной и цифровой обработки космических снимков. – М.: КД «Университет», 2007. – 424 с.
7. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: 1998. – 285 с.

Журкин И. Г., Шайтура С. В.

еоинформационные системы

Под общей редакцией Журкина И. Г.

Настоящее учебное пособие написано в соответствии с государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлениям: 120100 – «Геодезия» и 120200 – «Фотограмметрия и дистанционное зондирование». Предназначено для обучения студентов вузов, магистров, аспирантов по курсу «Геоинформационные системы». Может быть использовано для дистанционных методов образования и самообразования.

Предлагаемое учебное пособие написано на основе материалов лекционных и практических занятий, проводимых авторами в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по специальностям «Аэрофотогеодезия», «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами», «Информационные системы», «Картография», а также в Межотраслевом институте повышения квалификации МГТУ им. Н. Э Баумана при переподготовке учителей информатики и географии.

**Рекомендовано к образованию
в области геодезии и фотограмметрии
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных
заведений по направлениям 120100 и 120200**

КУДИЦ-ПРЕСС

КТК 161
ISBN 979-5-91136-065-8



9 785911 360658

По вопросу приобретения книг обращайтесь
в издательство по тел : (495) 333-82-11

Приглашаем:

- авторов книг по компьютерно
и деловой тематике;
- дистрибьюторов книжной продукции.

Интернет-представительство
и магазин: <http://books.dits.ru>

