http://open.ifmo.ru/images/0/08/132281\_up\_geoinformatika.pdf

общие принципы построения ГИС на основе серверных СУБД, с учетом особенностей реализации ГИС-проектов для градостроительного управления территорией (в нашей стране это называется ИСОГД, за рубежом - Spatial Planning GIS ), разбираетесь с проблематикой агент-ориентированных моделей вообще и применительно к ГИС в частности. Это теоретическая часть.

Введение.

В первой главе планируется рассказать общую теорию про ГИС – определения, классификацию, историю, зачем они нужны.

Во второй главе планируется рассказать про агент-ориентированное моделирование – оно в перспективе может пригодиться в работе, в нашем же случае мы можем рассматривать нашу ситуацию как стационарное агент-ориентированное моделирование с одиночным шагом по времени.

В третьей главе будет рассказана теория про вспомогательные инструменты, с помощью которых решается поставленная задача – это реляционные СУБД, в частности, Oracle, и .NET. Предполагается необширно рассказать про БД, реляционные СУБД, может, чуть подробнее – про ГИС на основе СУБД(в общем, это вроде как и есть основное направление нашего диплома), также рассказать про Oracle и про .NET.

В четвертой главе планируется рассказать конкретную теорию, связанную с поставленной задачей – про параметрическое моделирование(м.б., сюда стоит отнести и ГИС на основе реляционных СУБД).

В пятой главе планируется рассказать про практическую часть работы – что за приложение, как оно выглядит, про какие-то особенности кода для интерфейса, про структуру в СУБД, про некоторые процедуры.

Содержание:

Введение(обозначить проблему, актуальность, в чем наша задача, цель, про что будет рассказываться в работе, что планируется получить в результате, для чего это нужно, об инструментах, с помощью которых будет решаться поставленная задача, рассказать о перспективе продолжения работы, о причастности агент-ориентированного моделирования к нашей работе)

Глава 1. Общая теория про ГИС(определения, классификация, история развития), где можно применить(http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104507/1/GIS\_Sbornik.pdf)

Глава 2. Общая теория про агент-ориентированное моделирование

Глава 3. Общая теория про вспомогательные инструменты: реляционные СУБД, в частности Oracle, про dot.net

Глава 4. Более конкретная теория, связанная непосредственно с решаемой задачей: про параметрическое моделирование в ГИС, еще про что?

Глава 5. Непосредственно само приложение: что сделано в БД, что по интерфейсу, как все работает(прим. Или это не глава)

Прим. Где-то еще написать про пространственные данные(м.б. в главе 4)

Заключение

Литература

Источники:

<http://gistechnik.ru/book/SRT.pdf>

http://open.ifmo.ru/images/0/08/132281\_up\_geoinformatika.pdf

http://elib.bsu.by/bitstream/123456789/104507/1/GIS\_Sbornik.pdf

Про что можно написать:

Общие мысли.

Глава 1. Обзор ГИС.

1. Информационные системы
2. Что-то про ГИС – это в общем виде(

географическая информационная система (ГИС) или Geographic Information System (GIS) – это совокупность технических, программных и информационных средств, обеспечивающих ввод, хранение, обработку, математико—картографическое моделирование и образное интегрированное представление географических и соотнесенных с ними атрибутивных данных для решения проблем территориального планирования и управления

Основными компонентами ГИС являются компьютер и компьютерная периферия со специальным программным обеспечением, геопространственные данные и ГИС—специалисты

Географические информационные системы (ГИС) весьма требовательны к объему жесткого диска, оперативной памяти, частоте процессора компьютера, разрешающей способности сканера и принтера. Специальное программное обеспечение должно выполнять поддержку работы с географическими координатами, географическими проекциями, сложную сопряженную обработку компьютерной графики и табличной информации. Источниками данных для ГИС могут являться карты, схемы, чертежы, материалы наземных изысканий, дистанционного зондирования, в том числе аэрофотосъемки и космосъемки, данные систем спутникового позиционирования, статистические таблицы и текстовые документы. Все данные в ГИС разделяются на две большие группы – графику (пространственные данные) и атрибуты (тематические данные). ГИС поддерживают векторную и растровую графику. Роль ГИС-специалистов заключается в разработке дизайна будущей геоинформационной системы, сборе геопространственной информации, ее оцифровке и принятии обоснованных решений по территориальному планированию на основе анализа геопространственных данных.

ГИС должны выполнять следующие основные функции [23]: ·функции автоматизированного картографирования; ·функции пространственного анализа; ·функции управления данными. Функции автоматизированного картографирования должны обеспечивать работу с картографическими данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства высококачественных карт и рисунков, табл.1. Функции пространственного анализа должны обеспечивать совместное использование и обработку картографических и атрибутивных данных в интересах создания производных картографических данных и выполнения пространственного анализа. Функции управления данными должны обеспечивать работу с атрибутивными (неграфическими) данными ГИС с целью их отбора, обновления и преобразования для производства стандартных и рабочих отчетов.

ГИС могут быть классифицированы по следующим признакам [23]: по назначению в зависимости от целевого использования и характера решаемых задач; по проблемно-тематической ориентации в зависимости от области применения; по территориальному охвату в зависимости от масштабного ряда цифровых картографических данных, составляющих базу данных ГИС; по способу организации географических данных в зависимости от форматов ввода, хранения, обработки и представления картографической информации

Информационные системы в настоящее время используются в различных сферах деятельности человека. Однако довольно часто у пользователей возникает необходимость определения пространственного положения изучаемых объектов. Любая пространственная информационная система формируется на принципах, которые присущи всем информационным системам. Такие системы представляются как автоматизированные информационные системы, предназначенные для отображения и анализа естественных, а также искусственных объектов, расположенных в пределах земной поверхности. Пространственная привязка изучаемых объектов послужила основанием для введения термина «географические информационные системы» (ГИС). Со временем этот термин получил более широкую трактовку и трансформировался в понятие «геоинформационная система», поскольку в сферу исследования ГИС включались объекты и явления, имеющие не только конкретное местоположение на земной поверхности, но и различные описательные характеристики. В широком смысле слова ГИС воспринимается как модель реального мира, а в узком смысле является системой накопления и хранения данных, привязанных к земной поверхности. При этом наиболее перспективным направлением развития ГИС признана возможность поддержки процессов принятия решений. Применение ГИС, как показывает практика, весьма эффективно в любой предметной области, в которой важное значение имеет информация о взаимном расположении и формах описываемых или изучаемых объектов в пространстве (экология, сельское и лесное хозяйство, управление природными ресурсами, бизнес, кадастр объектов недвижимости, коммунальное хозяйство и т. д.). Таким образом, наиболее существенное отличие ГИС от других информационных систем заключается в том, что они содержат пространственно-временные и географически координированные данные, характеризующие конкретный объект. Эти данные могут включать географические координаты (широту и долготу), прямоугольные координаты (X и Y) или почтовые адреса, идентифицирующие местоположение объектов. В настоящее время автоматизация в области ГИС достигла такого уровня, который позволяет решать задачи пространственного анализа, осуществлять ведение графических и атрибутивных баз данных, корректировать информацию и выводить ее на печать. Таким образом, главное отличие ГИС от систем компьютерной графики заключается в том, что геоинформационные системы, кроме графического отображения, содержат разностороннюю информацию об объектах и их элементах [41, 84]. Кроме этого, они обеспечивают также определение площади и периметра замкнутых фигур, местоположение любых указанных объектов, их взаимное пересечение, наложение или примыкание, принадлежность, вид хозяйственного использования и т. д. Здесь следует сказать несколько слов о точности выполнения некоторых картометрических операций. Информация о каждом объекте, внесенном в ГИС, хранится в цифровом формате. Для формирования такой информации могут быть использованы, например, материалы автоматизированной съемки, сканирования, дистанционного зондирования. Если оператор выделит нужный объект и дважды щелкнет по нему «мышью», то на экране компьютера отобразится информация, присущая этому объекту. Таким образом, результат работы оператора существенным образом зависит от точности ранее внесенных в ГИС сведений. Поэтому площади и другие производные параметры будут вычисляться по содержащейся в базах данных информации. Чем точнее эта информация, тем надежнее результат будет получен оператором. Что касается количества значащих цифр после запятой или единиц измерения, то пользователь самостоятельно решает эту задачу с помощью элементарных системных настроек. *Спектр решаемых с помощью ГИС задач постоянно расширяется за счет имеющих место актуальных проблем муниципального управления, экологических проблем и т. д. Это обусловливает возрастание интереса к ГИС широкого круга юридических и физических лиц. Поэтому общее представление о геоинформационных системах должен получить практически каждый житель планеты Земля как потенциальный пользователь ГИС-технологий. Основанные на ГИС геоинформационные технологии завоевывают все большую популярность и официальное признание в нашей стране.(прим. Это можно во введение в актуальность).* Единое определение ГИС сформулировать достаточно сложно, поскольку их возможности могут рассматриваться с различных точек зрения. В настоящее время имеют место несколько десятков определений ГИС, поскольку географические информационные системы совершенствовались с учетом динамики предъявляемых к ним требований, изменяя или углубляя свои изначальные свойства и функции. Мы не будем приводить здесь все из них, укажем лишь определение, которое, по мнению авторов[гистечник], является наиболее точным:

*геоинформационная система* – это совокупность аппаратно-программных средств и алгоритмических процедур, предназначенных для сбора, ввода, хранения, математико-картографического моделирования и образного представления геопространственной информации.

Таким образом, геоинформационная система представляет собой информационную систему, обеспечивающую сбор, хранение, обработку, отображение и представление пространственно-координированных данных. ГИС содержат данные об объектах в цифровой форме (векторной или растровой). Они включают соответствующий определенным задачам набор функциональных возможностей, реализуемых в различных геоинформационных технологиях. Так же, как и любые информационные системы, они базируются на программных, аппаратных, информационных, нормативно-правовых, кадровых и организационных компонентах [80]. Решаемые актуальные научные и прикладные задачи в сфере инвентаризации, мониторинга, оценки земель, кадастра объектов недвижимости, планирования, управления, поддержки процесса принятия решений и другие задачи определяют проблемную ориентацию ГИС. В частности, в интегрированных ГИС (ИГИС) совмещаются функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки изображений в единой информационной среде.

**Функциональные возможности ГИС.**

Создание и функционирование ГИС сопряжено с рядом специфических задач организационно-правового, научно-технического и финансово- экономического характера. (Например, в Польше функционируют такие системы, как «Земля», «Здания и сооружения», «Инженерные коммуникации».) В ГИС используются колоссальные по размерам базы данных и качественная графика. Это требует значительных объемов машинной памяти и быстродействующих процессоров. Для этого необходимы более мощные компьютеры или так называемые рабочие станции профессионального уровня, стоимость которых значительно превышает стоимость персонального компьютера. Однако на базе персональных компьютеров также может быть создана полноценная ГИС, только с меньшим набором функциональных возможностей.

Под *функциональными возможностями* ГИС понимается комплекс функций геоинформационных систем и соответствующего программного обеспечения, позволяющих пользователям решать свои научные, производственные и бытовые задачи. Рассмотрим основные функции ГИС, которые обеспечивают пользователям решение широкого круга задач.

**Ввод данных** в ГИС представляет собой операцию чтения информации с различных носителей. Данные перед вводом в ГИС должны быть преобразованы в цифровой формат. Этот процесс называется оцифровкой и в современных ГИС может быть автоматизирован за счет применения сканерной технологии, что особенно важно для реализации крупных проектов. Ввод цифровой информации в ГИС может осуществляться с клавиатуры, из GPS-приемников, систем дистанционного зондирования, фотограмметрических приборов, электронных тахеометров, лазерных и магнитных носителей информации, а также путем импортирования из других систем и посредством речевого ввода.

**Функция хранения, манипулирования и управления** графической и атрибутивной (неграфической) информацией дает возможность пользователям осуществлять отбор, обновление, преобразование и хранение данных. Эта функция включает также статистические вычисления, поддержание информационной безопасности, формирование стандартных форм пользовательских запросов и представление полученных результатов. В небольших проектах географическая информация может храниться в виде обычных файлов. При увеличении объема информации для ее структуризации и хранения целесообразно применять системы управления базами данных и специальные компьютерные средства для работы с интегрированными наборами данных. Как правило, в современных ГИС используются реляционные модели данных, которые обеспечивают хранение информации в табличной форме**.** *(прим. Про ГИС на основе СУБД будет более подробно рассказано в главе 3).*

**Вывод данных** является одним из важнейших этапов, в результате которого реализуется возможность изучения информации, ее корректировки и предоставления потребителю в удобном для него виде. Информация может быть представлена в графической, текстовой или табличной форме. К основным устройствам вывода данных относятся: монитор, принтер, графопостроитель, магнитные и лазерные носители информации, а также другие информационные системы (операция экспорта).

**Картометрические операции** представляют собой процесс выполнения различных измерений по карте для определения геометрических параметров пространственных объектов (например, длины линий, периметры и площади замкнутых объектов), а также оценки полученных результатов.

**Генерация пользовательских запросов и документирование**. Если в ГИС имеется необходимая информация, то предоставляется возможность получать ответы как на простые вопросы (кто владелец данного земельного участка), так и на более сложные запросы, требующие дополнительного анализа (например, где выбрать площадку для строительства нового дома с учетом сложившейся застройки). Решение таких задач осуществляется посредством использования Structured Query Language (SQL), что в переводе означает «язык структурированных запросов». Запрос – это поиск на электронной карте (плане) нужной информации и выделение каким-либо условным знаком объектов, соответствующих теме запроса. Информация, предоставляемая пользователям по их запросам, должна не только удовлетворять поставленным условиям, но также быть формализована, то есть представлена в виде единых унифицированных форм документов, отчетов, графиков, таблиц, схем и т. д. Реализация вышеуказанных действий может быть осуществлена посредством встроенных языков программирования и макросов.

**Оверлейные операции** обеспечивают реализацию одной из основных функций геоинформационных систем, которые предназначены для наложения друг на друга различных слоев, представленных в цифровой форме, в целях комплексного изучения содержания электронной карты.

**Моделирование данных** представляет собой процедуру преобразования пространственных данных, включающую совокупность правил формирования структуры таблиц и взаимосвязей информации в базах данных. *Геоинформационное моделирование* – это процесс преобразования моделей пространственных объектов, обеспечивающий корректировку их форм по изменившимся значениям таблиц баз данных.

**Настройка геоинформационной системы** на требования пользователя предназначена для ее адаптации под конкретные требования пользователей.

**Визуализация данных** обеспечивает отображение информации на экране монитора, ее масштабирование, перемещение, редактирование, а также создание и использование библиотеки условных обозначений в растровом или векторном форматах. Функция визуализации цифровой информации позволяет решать задачи по выявлению пространственно- логических отношений.

**Преобразование пространственных данных.** В процессе работы с данными возникает задача их преобразования для последующего картографического отображения и представления в удобном для пользователя виде. Сюда включаются операции по реструктуризации данных, которые обеспечивают, например, изменение размера ячеек растрового изображения, перевод данных из одного формата в другой. Процедура преобразования данных реализует задачу трансформации координат объектов при переходе из одной проекции в другую, а также перевычисление прямоугольных координат точек в географические (или географических координат в прямоугольные). Кроме перечисленного, данная функция позволяет осуществлять конвертирование данных в различные форматы в процессе реализации функций экспорта и импорта, а также растрово-векторное и векторно-растровое преобразование данных для последующего использования в различных ГИС.

**Пространственный анализ** является наиболее важной функцией, которая базируется главным образом на процессах визуализации объектов электронной карты (плана). Пространственный анализ включает следующие основные операции:

-анализ наличия видимости (невидимости) между объектами;

-установление геометрических характеристик объектов, включая вычисление длин сторон полигонов, их периметров, площадей, расстояний между различными объектами и т. д.;

-определение топологических отношений между объектами (например, пересечение, примыкание, включение, соседство). Задание топологии возможно автоматически или вручную;

-построение буферных зон вокруг точечных, линейных и полигональных объектов. Такие зоны формируются эквидистантными линиями (то есть равноудаленными друг от друга), отражающими область действия каких-либо факторов. Под буферной зоной понимается территория, отделяющая две или несколько зон различного функционального назначения. Такие зоны создаются, например, для выделения опасных территорий вокруг аварийных объектов. (Они могут быть рассчитаны по нормативам предельно-допустимых концентраций вредных веществ с учетом мощности концентрации, направления ветров, рельефа местности, а также сферы распространения вредных веществ, вибрации, шума и т. д.);

-поиск кратчайшего пути или оптимального расстояния по какому-либо критерию, а также ближайшего соседа.

Современные ГИС имеют множество мощных инструментов для пространственного анализа, среди которых наиболее значимы анализ видимости, близости и наложения.

*Анализ видимости* обеспечивает определение прямой видимости (или невидимости) между изучаемыми объектами с учетом рельефа местности и окружающих строений.

Для проведения *анализа близости* объектов относительно друг друга в ГИС применяется ранее указанный процесс, называемый буферизацией. При этом можно решать ряд практических задач, например, определить количество домов, расположенных в радиусе пятисот метров от указанного учреждения, подсчитать численность населения в конкретной зоне и т. д. Использование процесса буферизации предоставляет возможность решать проблемы водопользования, размещения объектов культурно-бытового назначения и т. д.

Процесс *наложения информации* обеспечивает интеграцию данных, расположенных в различных тематических слоях. Кроме обычного отображения объектов, здесь могут быть применены операции их физического объединения. Таким образом, могут быть решены различные задачи, связанные с определением рельефа местности, величины уклона и т. д.

Геоинформационные системы содержат информацию о реальном мире в виде набора тематических слоев, которые объединены по принципу типизации объектов. Для представления, например, застроенной территории в ГИС можно выделить несколько слоев: «Здания», «Улицы», «Подземные коммуникации», «Зеленые насаждения», «Водные объекты». Этот простой и вместе с тем очень гибкий подход доказал свою актуальность в процессе решения разнообразных задач, к основным из которых можно отнести отслеживание передвижения транспортных средств, определение кратчайшего расстояния между двумя пунктами с учетом наличия транспортных коммуникаций и так далее. При этом предоставляется возможность детально изучать любые объекты, не перегружая изображение второстепенными элементами. Таким образом, подключая нужные для изучения слои и накладывая их друг на друга, пользователь может решить любую задачу (вычисление площадей и расстояний, определение координат объектов и т. д.). Для автоматического решения подобных задач применяется процедура, называемая геокодированием. Под геокодированием понимается процесс присвоения различным точкам местности координат (X и Y), который обеспечивает поиск на электронной карте или плане любого реально существующего объекта для последующего изучения, например, местоположения землетрясения или наводнения, пути к нужному населенному пункту или объекту и т. д. Таким образом, зная название объекта, представляется возможность определить его местоположение на электронной карте, и наоборот, задавая его координаты, можно вывести этот объект на экран компьютера для детального изучения.

**История развития ГИС.**

Термин «географическая информационная система» введен в 1963 году Р.Ф. Томлинсоном при внедрении электронной пространственной информационной системы в Канаде. Это понятие соответствовало новой технологии применения ЭВМ для хранения и обработки данных. Значительно позднее на базе таких систем были созданы **(указанные выше)** земельные информационные системы, характеризующие правовое, хозяйственное и пространственное положение незначительных по площади территорий. Американский архитектор Ф. Харт предложил информацию различного рода помещать на кальке. При помощи подсветки представлялась возможность совмещать информацию, имеющуюся на нескольких листах кальки. Данную идею развили другие американские ученые – Говард и Фишер, предложившие для совмещения изображений использовать компьютер. С 1977 года эта идея применяется в различных сферах производственной и научной деятельности специалистов.

В восьмидесятые годы прошлого столетия в области ГИС произошли важные преобразования. В это время появились сетевые, пространственные и экологические системы.

Десять лет спустя развитие ГИС получило новое ускорение. Локальные системы были объединены в сеть, что существенно упростило обмен данными. Геоинформационные системы того времени не были гибридными и работали только с растровыми или только с векторными данными. Однако в современных условиях особое значение приобретают интегрированные (гибридные) системы, которые обеспечивают работу и с растровыми, и с векторными данными. В процессе сбора информации все большее значение приобретает фотограмметрия. В качестве дальнейших революционных шагов в развитии методов сбора информации можно назвать системы дистанционного зондирования и спутниковые системы, которые постоянно модернизируются. Традиционные технологии определения координат основываются главным образом на прямой видимости между пунктами. Однако такое условие не всегда выполнимо. Кроме этого, наземные способы наблюдений обеспечивают измерение направлений, а также расстояний между пунктами, которые не превышают тридцати километров. Этот недостаток устраняется путем внедрения Global Positioning System (GPS), то есть глобальных систем позиционирования. Позиционирование означает вычисление координат земных объектов, а также вектора скорости и направления движения спутника. Система является глобальной, поскольку она может обеспечить связь между объектами, расположенными на различных континентах. Это достигается благодаря запуску искусственных спутников Земли, которые являются носителями координат. Идея глобальных систем позиционирования принадлежит Министерству обороны США и заключается в том, что непосредственной видимости между объектами земной поверхности не требуется. Спутники в данном случае являются промежуточными звеньями, благодаря которым осуществляется связь между точками земной поверхности, разнесенными на огромные расстояния. В современных условиях эти технологии являются одним из основных источников формирования баз данных, описывающих пространственное положение изучаемых объектов. На территории России спутниковая навигационная система создана и постоянно совершенствуется. Со временем она обеспечит координатную привязку точнее, чем зарубежные спутниковые системы.

Современные ГИС включают в себя средства автоматизации вычислительных операций и преобразования информации. (прим. Не добавил пункт про развитие средств вычислительной техники)

Международный опыт в области топографического и тематического картографирования, а также в сфере компьютерных технологий определил направление дальнейшего развития ГИС. Важная роль при этом отводится комплексному тематическому картографированию, обеспечивающему применение различного рода данных для получения знаний о географических объектах, что до сих пор остается важнейшим свойством ГИС. Первый удачный опыт использования принципа совмещения и наложения пространственных данных с помощью набора карт относится к XVIII веку. Французский картограф Луи-Александр Бертье создавал прозрачные слои с различным тематическим содержанием, которые накладывал на базовую карту. Этот принцип используется в современных ГИС для формирования тематических карт. Хронологию развития геоинформационных систем можно условно разбить на четыре периода, которые тесно связаны с развитием средств вычислительной техники.

**Первый этап(пионерский)** развития ГИС на основе достижений в области компьютерных технологий начался в 1950 годы и закончился в 1970 годы. В это время появились электронные вычислительные машины, плоттеры, графические дисплеи и различные периферийные устройства. Существенное влияние на развитие ГИС в этот период оказали теоретические исследования в области географии и пространственных данных, а также внедренные в США и Швеции количественные методы анализа информации. Создателями ГИС Канады разработаны и реализованы многие концептуальные и технологические решения. ГИС, предложенные в то время, обеспечивали анализ многочисленных данных, накопленных Канадской службой земельного учета. В них сосредотачивались статистические данные о земле преимущественно сельскохозяйственного назначения. Для этих целей была создана принципиально новая технология, позволяющая манипулировать отдельными слоями и производить картометрические операции. Ввод информации в ГИС с землеустроительных планов различного масштаба осуществлялся с помощью специального сканирующего устройства. Таким образом, разработчики ГИС Канады предложили ряд принципиально новых технологий, в основу которых положено:

- использование результатов сканирования графических материалов для автоматизации процессов ввода данных;

- расчленение картографической информации по тематическим слоям, что позволило выделить файлы, содержащие сведения о местоположении объектов, и файлы, содержащие тематическую информацию об этих объектах;

- вычисление площадей замкнутых фигур, а также выполнение различных картометрических операций. Лаборатория компьютерной графики Гарварда, переименованная в 1968 году в Лабораторию компьютерной графики и пространственного анализа, оказала существенное влияние на развитие ГИС. Эта лаборатория реализовала ряд идей, составивших основу современных ГИС. Таким образом, благодаря разработкам гарвардской лаборатории в области компьютерного картографирования, определена ведущая роль картографического метода исследований и представления информации.

**Второй этап** назван периодом государственных инициатив и относится к 1970–1980 годам. Бюро переписи населения в США предопределило ключевую роль развития геоинформационных систем. В это же время Соединенные Штаты Америки начали разработку земельных информационных систем для целей налогообложения. Схемы определения пространственных отношений между объектами формировались на основании топологии. Значение топологии заключалось в том, что она описывала, каким образом линейные объекты на карте соединены между собой, какие объекты примыкают друг к другу или пересекаются, какие площадные объекты перекрываются или граничат друг с другом. При этом были пронумерованы узловые точки и присвоены идентификаторы земельным участкам. В этот период предложена схема кодирования, упрощающая нумерацию узлов (пересечение улиц) и площадей (кварталов). Таким образом была существенно повышена эффективность процедуры оцифровки и обнаружения ошибок. (На основе полученной в соответствии с вышеизложенным информации создана серия атласов крупных городов, содержащих результаты переписи населения 1970 года, а также большое количество упрощенных компьютерных карт для маркетинга и планирования розничной торговли.)

**Третий этап** (1980–1990 годы) известен под названием периода коммерческого развития. Доступный рынок разнообразных программных средств, развитие настольных ГИС, расширение области их применения за счет интеграции с базами геопространственных данных, появление значительного числа непрофессиональных пользователей послужили предпосылками для появления систем, поддерживающих распределенные базы данных. Значительная роль в формировании концепции ГИС и реализации ее отдельных блоков принадлежит сотрудникам Тихоокеанского института географии. Ими были разработаны принципы проектирования и создания ГИС «Природопользование», сформулированы требования к пространственной организации данных, аппаратно-программному обеспечению, вводу и отображению картографических данных. В начале восьмидесятых годов прошлого столетия был разработан общеизвестный программный продукт ArcInfo. Он до настоящего времени остается наиболее успешным воплощением идей ГИС Канады в отношении раздельного представления атрибутивной и пространственной информации. Для хранения и обработки атрибутивной информации в виде таблиц применено специальное программное обеспечение, включающее стандартную реляционную систему управления базами данных. При этом ArcInfo остался доступным для различных технических платформ и операционных систем. В связи с этим ArcInfo успешно используется в лесном хозяйстве. Другой крупной фирмой в области производства аппаратно-программных средств, рабочих станций, программного обеспечения и пользовательского интерфейса для ГИС- технологий остается Intergraph.

**Четвертый этап** (1990 год и до настоящего времени) известен как пользовательский период. Повышенная конкуренция среди разработчиков геоинформационных технологий и услуг обеспечивает пользователям ГИС широкий выбор. Доступность и открытость программных средств позволяет их не только использовать, но и модифицировать. Работы по проектированию и созданию отечественных ГИС, базирующиеся на международном опыте, начаты в девяностые годы прошлого столетия. Этому способствовали благоприятные концептуальные, технические и организационные условия, а также осознанная необходимость использования геоинформационных систем не только в сфере профессиональной географии, но и в других областях информационного обеспечения процессов решения производственных задач. Главным достижением в области программного обеспечения явилось создание системы послойного представления графической информации. Информация разделялась по типам объектов, данные о которых помещались в отдельные слои для обработки. Кроме этого, было выделено блочное редактирование информации. Таким образом, в процессе редактирования какого-либо блока изменения автоматически вносились в те части чертежа, в которые входил редактируемый блок. Это значительно сократило объем работ по обновлению графических документов. В это же время созданы интегрированные программные продукты и геоинформационные системы. Информатика становится основой подготовки различных специалистов в области обработки данных. Кроме того, возникла потребность в геоинформационных системах, позволяющих осуществлять глобальную интеграцию различных видов информации. В связи с этим появились новые геоинформационные технологии, что обеспечило разработку ГИС как автоматизированной интегрированной информационной системы, включающей, кроме указанных ранее блоков (см. рис. 1), базы знаний, подсистемы экспертной оценки и интеграции данных. Интеграция данных означает, что для создания конкретной информационной системы выбирается определенный класс данных, а все остальные типы преобразуются к свойствам этого класса. Некоторые известные российские геоинформационные системы разработаны еще в начале девяностых годов прошлого столетия. Несмотря на то, что импортные ГИС стали вполне доступными, отечественным разработкам все же удалось занять хотя и незначительную, но вполне устойчивую нишу. Из полнофункциональных многоцелевых геоинформационных систем, созданных российскими компаниями, можно назвать «GeoGraw/ГеоГраф», «ИнГЕО» («Интегро»), «Панорама» (Топографическая служба ВС РФ), ObjectLand («Радом-Т»), GeoCad и GeoPolis (Новосибирск). К основным причинам, препятствующим российским ГИС занять достойное место на мировом рынке геоинформационных систем, можно отнести следующие :

1. Несовершенство российского законодательства, затрудняющего продажу отечественных разработок за рубеж.

2. Недостаточный объем инвестиций в это направление.

3. Отсутствие продуманной стратегии, направленной на выявление потребностей рынка.

4. Использование не в полном объеме современного стандарта на разработку программного обеспечения, включающего в себя этапы бизнес-анализа, системного анализа, архитектурного проектирования, тестирования и реализации.

Геоинформационные технологии для принятия решений появились благодаря широкому распространению персональных компьютеров, стандартных пакетов прикладных программ и систем искусственного интеллекта. Главной особенностью таких систем является принципиально новый метод организации взаимодействия человека и компьютера. Выработка решений происходит в результате итерационного процесса, в котором участвует система поддержки принятия решений в роли вычислительного звена и объекта управления, а также человек как управляющее звено, задающее входные данные и оценивающее полученный на компьютере результат вычислений. При этом окончание итерационного процесса происходит по воле человека. Геоинформационные технологии, обеспечивая новые эффективные подходы к анализу и решению территориальных проблем, продолжают завоевывать все большую популярность и официальное признание в нашей стране. (При этом цифровая информация приобретает важное значение в задачах социально-экономического, политического, экологического развития и управления природным, производственным и трудовым потенциалом.) Однако существует проблема подготовки кадров в области ГИС-технологий, которую нельзя считать «чисто российской», так как с подобной проблемой столкнулись и развитые в геоинформационном отношении страны. (Кроме кардинального повышения уровня профессионального геоинформационного образования среди специалистов, не менее важной проблемой остается повышение уровня геоинформационной грамотности среди лиц, принимающих решения на различных уровнях административного или отраслевого управления. )

Реализация функций любой геоинформационной системы невозможна без знания конкретной технологии, на которую ориентируется данная система. Геоинформационная технология базируется на приемах, способах, методах применения средств вычислительной техники для реализации функций сбора, хранения, обработки и использования данных. Поэтому любая геоинформационная технология должна:

- предполагать высокую степень расчленения всего процесса обработки информации на составные взаимосвязанные части (например, действия, операции, этапы);

- включать полный набор элементов, необходимых для достижения поставленной цели;

- быть стабильной и базироваться на унификации и стандартизации выполняемых действий, операций, этапов.

*Геоинформационная технология* представляет собой совокупность приемов, способов и методов применения средств вычислительной техники, позволяющую реализовать функциональные возможности ГИС. (Формирование любой геоинформационной технологии базируется на основных постулатах системного анализа. Этот процесс начинается с формулирования цели ее создания. После этого цель на основании структурного анализа разбивается на несколько подцелей или задач, которые необходимо решать в строгом соответствии с технологической последовательностью. Для решения каждой задачи подбираются наиболее приемлемые технические средства и технологии. Геоинформационные технологии по преобразованию данных предназначены для решения структурированных задач, по которым имеются необходимые входные данные, известны алгоритмы и другие стандартные процедуры обработки. К основным особенностям геоинформационных технологий следует отнести то, что они обеспечивают:

- решение только структурированных задач, для которых можно разработать алгоритм;

- выполнение стандартных процедур обработки в автоматическом режиме с минимальным участием человека;

- детализацию данных, расположенных на различных уровнях иерархии;

- доведение до минимума факта вмешательства других специалистов в процесс решения конкретных проблем.

Основными компонентами геоинформационных технологий являются сбор данных, их обработка, хранение, преобразование, создание отчетов, а также других документов для различных потребителей информации.

В условиях максимальной информатизации общества возрастает роль новых технологий, соответствующих современным требованиям. Поскольку на все недвижимое имущество Российской Федерации создается единая информационная система, необходимы эффективные способы хранения, преобразования и предоставления потребителям информации. Под информацией в математике и кибернетике понимается количественная мера устранения неопределенности (энтропии), то есть мера уровня организации системы. Этот термин имеет латинское происхождение и ввел его в 1946 году Клод Шеннон. В настоящее время под информацией понимается совокупность сведений об окружающей среде и происходящих в ней процессах, воспринимаемых человеком или специальными устройствами. Вопросами информатизации общества занимается информатика, то есть наука об общих свойствах и структуре научной информации, закономерностях ее создания, способах преобразования, накопления, передачи и использования. Переход от индустриального общества к информационному осуществляется в условиях возрастающих требований к качеству информационного обслуживания населения. При этом возникает необходимость комплексного описания объектов, в связи с чем реализуются возможности геоинформатики, как одного из перспективных направлений. **Геоинформатика изучает пространственные, временные и тематические характеристики объектов. Основанием для формирования геоинформатики послужило развитие информационных систем и, в частности, ГИС, которые вторгаются практически во все сферы человеческой деятельности. Геоинформатика сформирована из трех направлений [6, 14, 21, 24, 25, 29, 32, 40, 42, 78]: 1) научного, включающего в себя информатику, математику и науки о Земле; 2) прикладного, осуществляющего разработку систем и технологий в целях изучения процессов, происходящих в окружающем мире;3) производственного, реализующего создание продукции, которая используется для анализа пространственных отношений и в картографическом производстве.** Слово «геоинформатика» включает в свой состав части слов: география, информатика и автоматика. С геоинформатикой связаны также многие другие дисциплины, в частности, картография, геодезия, фотограмметрия. Существует ряд определений геоинформатики, трактующих ее как науку, технологию и производственную деятельность. Это подтверждает многогранность и содержательность данной научной дисциплины. В частности, геоинформатика представляет собой научную и прикладную дисциплину, объединяющую сбор, обработку, моделирование, анализ, хранение, преобразование данных об объектах местности, а также о различных экономических, социальных и прочих процессах, происходящих в пределах земной поверхности. **Основными задачами геоинформатики являются следующие: разработка и совершенствование методов обеспечения пользователей пространственными и тематическими данными; создание и внедрение комплексов технических и программных средств, технологий автоматизированного изготовления цифровых и электронных карт; формирование критериев и методов оценки эффективности ГИС.** Становление геоинформатики базируется на разработке географической информационной системы Канады, которая развивается и в настоящее время. Контингент разработчиков ГИС должен непрерывно пополняться. Однако, как отмечалось ранее, без расширения и укрепления образовательной деятельности в области геоинформатики на всех уровнях подготовки профессиональных кадров, высшая школа не сможет удовлетворять потребности в специалистах по данному направлению. Практика показывает, что группа разработчиков ГИС должна включать широкий круг специалистов

Согласно представленной схеме, ключевыми фигурами в геоинформационной деятельности следует считать ГИС-менеджера и ГИС-специалиста, которые должны обладать системными знаниями и навыками работы в области проектирования, создания, внедрения, эксплуатации и модернизации ГИС. ГИС-менеджер проекта должен обладать способностью: разрабатывать концептуальную информационную модель актуальной проблемы с учетом ее предметной и территориальной специфики; оценивать перспективы реализации модели на основании анализа современных ГИС-технологий, а также с учетом существующих мировых стандартов и тенденций; обосновывать набор принципов, методов и приемов, необходимых для организации информационного обеспечения ГИС-проекта, и оценивать возможные затраты денежных средств и трудовых ресурсов; разрабатывать бизнес-план, программу работ и другую документацию, регламентирующую реализацию ГИС-проекта; прогнозировать пути и средства дальнейшего совершенствования ГИС- технологий и их адаптации к территориальной и предметной специфике решаемых задач; организовывать обучение персонала, эксплуатирующего ГИС. Несколько направлений, связанных с развитием новых методов картографического моделирования в геоинформатике, разрабатывались в Институте географии Российской академии наук. Если изучить хронологию развития геоинформатики только по совещаниям, семинарам, конференциям, симпозиумам, форумам, то ее появление относится к 1983 году, когда Тартусским государственным университетом и Эстонским географическим обществом при деятельном участии Института географии АН СССР была проведена Республиканская научная конференция «Проблемы геоинформатики». В конференции участвовало 85 человек из двенадцати городов, представлявших 33 научных и научно-практических учреждения, академии наук союзных республик, вузы, плановые и проектные органы. В сборнике тезисов докладов, опубликованных по ее результатам, имеются работы, относящиеся непосредственно к теме геоинформатики. В предисловии оргкомитета обозначено, что исследования по проблематике геоинформационных систем имеют в Тартусском государственном университете (ТГУ) определенные традиции. Географическое отделение ТГУ обратилось к Госплану Эстонии с предложением начать разработку республиканской территориальной информационной системы и выразило готовность взять на себя роль ведущего исполнителя. Первая публикация по геоинформационной тематике кафедры физической географии ТГУ появилась в 1973 году. VII съезд Всесоюзного географического общества в 1980 году в городе Фрунзе в своем решении отметил необходимость создания автоматизированных геоинформационных систем в качестве одного из мероприятий, которое является основой выполнения задач, поставленных перед географией на 1980–1985 годы.Текст решения Тартусской конференции содержит ряд позиций, важных с точки зрения восстановления изначальной истории геоинформатики в стране. В основу решения положен тот факт, что неотъемлемой частью жизнедеятельности любого общества являются ГИС-технологии. Без них не появилась бы геоинформатика, основное назначение которой заключается в преобразовании и обмене информацией [20, 22, 76]. **Поскольку одним из ключевых исследований геоинформатики является изучение пространственных отношений между объектами, то здесь следует сказать несколько слов о топологии. Топология – это раздел математики, в котором изучаются свойства фигур, не изменяющиеся в процессе любых непрерывных преобразований (деформаций).** Слово «топология» происходит от греческих topos – место и logos – учение. **Она изучает характер соединения линий, полигонов и узлов без учета их длин и площадей. Таким образом, топология дополняет метрические свойства изучаемых объектов. Например, дорога, как пространственный объект, может быть отображена линией. В то же самое время топология позволяет определить, какие объекты дорога пересекает, а к каким примыкает, какой объект находится внутри другого, с какими он соединен, граничит и т. д. Топологические ГИС формируют объекты как единое целое. Ярким примером таких ГИС является ArcInfo. Объекты, созданные в среде нетопологических ГИС (например, MapInfo и WinGis), представляются системой как набор отдельных элементов, их составляющих. Поэтому такие объекты «рассыпаются», то есть разваливаются на отдельные элементы. Тем не менее, вышеуказанные системы могут успешно применяться для изучения социальных и демографических явлений. Кроме этого, имеет место операция «топологизации», то есть преобразования векторных нетопологических отношений в топологические. Таким образом, при необходимости топология может быть установлена. Например, геоинформационная система ArcGis позволяет выявлять и корректировать топологию «на лету», то есть непосредственно во время сеанса.** После нажатия правой кнопки «мыши» в границах нужного объекта на экране появляется контекстное меню, в котором пользователю предлагается список возможных операций исправления топологии (слияние, создание нового объекта, совмещение точек и т. д.). **Топологические свойства отражают качественную сторону объекта: например, дорога обязательно должна подходить к населенному пункту, а водопровод – примыкать к зданию, плотина должна быть расположена поперек реки, а не рядом с ней и т. д.** Здесь уместно привести известный пример о том, равна ли сумма внутренних углов треугольника всегда 180°, то есть можно ли назвать это свойство топологическим с учетом некоторых преобразований. Если треугольник расположен на выпуклой полусфере, то сумма его внутренних углов, составленная дугами больших кругов, будет несколько больше 180° за счет сферического избытка. На плоскости стороны этого треугольника изобразятся в виде прямых линий, поэтому сумма внутренних углов равна 180°. Если же полусферу вывернуть «изнанкой наружу», то сумма внутренних углов окажется менее 180°, поскольку стороны треугольника будут «вогнутыми». Следовательно, треугольник в процессе преобразований изменяет сумму внутренних углов, и это свойство не является топологическим. Классическим примером топологии является также следующий. Если на резиновой основе (листе) начертить примыкающие друг к другу и взаимно пересекающиеся замкнутые фигуры, то какой бы деформации без разрывов не подвергался этот лист, указанное соотношение между фигурами сохраняется (рис. 7). а) б) Рис. 7. **Топологические связи между объектами: а) примыкание; б) пересечение Таким образом, топологическая информация определяет, как точки соединены друг с другом, какие точки образуют полигон, какие линии пересекаются, каким образом один объект вложен в другой и т. д. Эта информация хранится внутри ГИС в цифровом виде и обеспечивает выявление ряда весьма важных для исследователей отношений между объектами, к основным из которых относятся: вложение (один площадной объект полностью расположен в границах другого площадного объекта, например, остров в озере); пересечение (прохождение одного объекта через другой); примыкание (наличие одной общей точки у двух или нескольких объектов. Если примыкание имеет единый смысловой образ, то оно называется сопряжением, например, река впадает в озеро, электрический кабель подходит к трансформаторной будке и т. д.); смежность (наличие между объектами нескольких общих точек, например, граница между двумя соседними земельными участками, принадлежащими различным землепользователям); совмещение (граница одного площадного объекта полностью совпадает с границей другого, например, береговая линия и водная поверхность озера); эквидистантное соседство (отношение между двумя объектами, равноудаленными друг от друга, например, железная дорога и линия электропередач вдоль нее). В топологических ГИС связи между объектами хранятся в цифровом виде в памяти компьютера в виде адресных ссылок. В нетопологических ГИС нет явной связи между объектами и их элементами. Каждый объект автономен, даже если их координаты совпадают. В целях реализации функций пространственного анализа в топологических геоинформационных системах используются данные о взаимосвязях между объектами и их элементами, которые кодируются.** **Существует множество методов кодирования информации, которым посвящен ряд работ [14, 16, 18, 24, 29]. Метод группового кодирования является самым простым способом введения растровых моделей в компьютер, при котором информация о ячейках растра вводится парой чисел. Первая цифра означает длину группы однородных символов, а вторая представляет собой конкретное значение. Изображение просматривается по лексикографическому правилу, то есть слева направо и сверху вниз (рис. 8). 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 Рис. 8. Понятие метода группового кодирования Код в данном случае будет иметь вид: 41102160514031. Таким образом, информация, содержащаяся в таблице (или растровом изображении), может быть представлена одной строкой и воспринимается системой следующим образом: четыре единицы, один нуль, две единицы, шесть нулей, пять единиц, четыре нуля, три единицы.**

**Классификация ГИС.**

В настоящее время нет единой классификации ГИС, которая бы охватывала все имеющиеся системы. Это объясняется главным образом тем, что пользователей интересует лишь своя сфера деятельности, а разработчики не нуждаются в классификации ГИС, поскольку работают для конкретных потребителей. В связи с этим авторы http://gistechnik.ru/book/SRT.pdf, на основании обобщения имеющейся информации, выносят на обсуждение читателей наиболее полную классификацию ГИС.

В зависимости от **степени автоматизации** информационных процессов в сфере управления, геоинформационные системы подразделяются на **автоматические** и **автоматизированные**.

Любая информационная система является **эргатической**. В таких системах человеку (оператору) отводится важная роль*. Автоматические геоинформационные системы* обеспечивают обработку информации на определенном этапе ее преобразования без участия человека (оператора). *Автоматизированные геоинформационные системы*, в отличие от этого, предполагают непрерывное взаимодействие оператора и технических средств на протяжении всего процесса обработки информации.

**По назначению** можно выделить ГИС, используемые для поддержания процесса принятия решения, а также создания справочных и офисных систем. *Системы поддержки принятия решения* представляют собой информационные системы, в которых с помощью запросов производятся отбор и анализ данных по временным, географическим и прочим показателям. *Современные информационно-справочные системы* формируются главным образом в виде гипертекстовых документов и мультимедиа. Наибольшее распространение такие системы получили в Internet. Гипертекст представляет собой структурированный, вложенный и связанный по смыслу текст с ключевыми словами. *Офисные системы* обеспечивают перевод в электронный вид документов, представленных на бумажной основе, для целей автоматизации делопроизводства.

С **учетом функциональных возможностей ГИС** можно выделить следующие основные группы:

- *инструментальные ГИС* – это системы с наиболее широкими возможностями, включающие подсистемы ввода данных, подсистемы пространственного моделирования и анализа данных, мощные средства запросов, средства вывода информации на твердые носители, средства расширения возможности систем;

- *ГИС-вьюеры (вьюверы)* представляют собой системы сопровождения инструментальных ГИС и предназначены для просмотра информации. Они также позволяют формировать информационные запросы и корректировать данные;

- *справочные картографические системы* являются аналогом ГИС-вьюеров (вьюверов). Они содержат встроенные базы данных, которые пользователь не может редактировать, и в них отсутствуют средства расширения, обновления и корректировки данных;

- средства обработки данных дистанционного зондирования.

В процессе классификации **по охвату описываемой территории**, в зависимости от масштабного ряда и цифровой картографической информации, составляющей базы данных, можно выделить *глобальные, общенациональные, региональные, локальные и муниципальные ГИС*, обеспечивающие потребителей информацией в указанных границах.

По **топологии ГИС** подразделяются на *топологические* и *нетопологические*. Топологические ГИС обеспечивают связь между объектами и их элементами, которая может быть разорвана только по желанию пользователя. Такие ГИС используются для решения многих задач пространственного анализа (определение расстояний между объектами, видимости между ними и т. д.).

Все информационные системы, включая ГИС, могут быть объединены в сеть. В связи с этим классификация по топологии подразумевает также подразделение систем по типу соединения на сетевые и локальные. Сетевые геоинформационные системы обслуживают самую многочисленную группу пользователей. Они оказали существенное влияние на развитие ГИС, ориентированных на векторные данные. Задачей таких систем является документирование и обработка информации о различных видах производственной деятельности физических и юридических лиц. При этом широко используются сети Internet и Intranet. Сетевые геоинформационные системы представляют собой инструмент, обеспечивающий сбор, поиск, анализ, преобразование и выдачу заявителям данных о любом объекте недвижимости или конкретном землепользователе. (В данном случае под топологией сети понимается описание физического расположения, то есть того, каким образом информационные системы соединены друг с другом. В качестве примера ниже приведены некоторые виды сетевых топологий (соединения типа «кольцо» (рис. 11, а), «звезда» (рис. 11, б), «цепочка» (рис. 11, в), ячеистая топология (рис. 11, г)). В кольцевых системах команды и информация распределяются от компьютера-источника по кольцу на периферийные устройства и возвращаются в исходное состояние. Соединения типа «звезда» основаны на распределении команд и информации с помощью центрального компьютера, называемого сервером. Сервер (от английского server – обслуживать) – это мощный компьютер, обеспечивающий управление внешней памятью, базами данных, электронной почтой [11].)

**По типу представления данных** различают системы, работающие с двумерной графикой, и системы, работающие с трехмерной графикой. Во втором случае пользователям предоставляются широкие возможности по формированию объемных изображений объектов, а также по изучению рельефа без выхода на местность.

ГИС можно классифицировать по аппаратным средствам и программному обеспечению. Аппаратные средства представляют собой совокупность технических средств, необходимых для функционирования системы. Сюда включается процессор, монитор, клавиатура, «мышь», сканер, плоттер, принтер и другие устройства. Программное обеспечение – это совокупность входящих в состав ГИС программных средств, обеспечивающих работу геоинформационной системы. Здесь можно выделить системное программное обеспечение, ***которое включает операционную систему, разрабатываемую поставщиком ГИС и предназначенную для функционирования системы*** (например, DOS или Windows, все ли верно), а также прикладное программное обеспечение, состоящее из баз данных и пакетов прикладных программ, необходимых для взаимодействия оператора и системы. (Программное обеспечение геоинформационных систем формирует функции и средства, необходимые для хранения, анализа и представления различных данных. Наиболее широко используются программы ГИС: ArcGis, MapInfo, WinGis, ArcInfo, AutoCad Map, ObjecLand и другие. Тем не менее, следует учитывать, что каждая программа имеет свои специфические особенности. Если, например, требуется недорогая и несложная в применении программа, то MapInfo будет наиболее приемлемой, поскольку она проста в работе, но в то же самое время позволяет выполнять многие важные функции. ArcInfo может быть использована для более специфического и детального пространственного анализа, а AutoCad Map является наилучшим вариантом для тех, кто использует в своей работе высокоточную графику. ArcGis незаменима для разработчиков, которые используют топологические отношения между объектами в своей деятельности. В 2007 году введена в действие геоинформационная система по ведению государственного кадастра объектов недвижимости. Данная система разработана Федеральным кадастровым центром «Земля» и предназначена для ведения государственного земельного кадастра и государственного кадастрового учета объектов недвижимого имущества.)

С учетом аппаратных средств и программного обеспечения можно выделить два класса ГИС**: инструментальные** **и ГИС-приложения**.

**Инструментальные ГИС** могут быть полнофункциональными, узкоспециализированными и настольно-картографическими. Они обеспечивают формирование сложных запросов и пространственный анализ.

**Полнофункциональные системы** содержат все стандартные функции, включающие ввод, хранение, формирование сложных запросов, пространственный анализ, вывод твердых копий на печать.

К **узкоспециализированным** относятся системы, выполняющие одну из основных функций. К таким системам можно отнести векторизаторы и вьюверы (вьюеры).

**Настольно-картографические** системы базируются на программных продуктах, у которых на высоком уровне реализованы картографические функции.

**ГИС-приложения** ориентированы на одну из предметных областей и обычно создаются на базе инструментальных ГИС. Основой интеграции данных в ГИС служит географическая информация. Однако некоторые задачи, решаемые средствами геоинформационных систем, не связаны с местоположением объектов. По формальному признаку они относятся к информационным системам, но по своему функциональному назначению принадлежат к классу систем обработки данных и проведения экспертных оценок.

Классификация по **типу используемых данных** позволяет выделить системы, ориентированные на обработку векторной, растровой или гибридной информации. Выбор типа данных зависит от круга решаемых задач и финансовых возможностей пользователя. Данные могут быть импортированы из различных источников, например из геоинформационных систем какой-либо организации, Internet, коммерческих баз данных и т. д. Все ГИС, представленные на современном рынке, с учетом архитектурных принципов построения, подразделяются на два типа: открытые и закрытые.

**Открытые системы** пользователь может изменять для решения специфических задач путем добавления своих модулей, используя встроенные в систему языки программирования. Таким образом, открытые системы, как правило, на 10–30 % могут быть расширены самим пользователем при помощи специального аппарата создания приложений. Термин «открытые системы» означает их открытость для пользователя, возможность расширения и адаптации к новым задачам и изменившимся условиям. Открытым системам присуща высокая стоимость, однако их жизненный цикл может быть существенно продлен за счет функций расширения.

**Закрытые системы** не имеют возможностей расширения. У них отсутствуют встроенные языки программирования. Кроме этого, они не предусматривают создание пользовательских приложений. Такие системы выполняют только то, что в них заложено разработчиком. В большинстве случаев закрытые системы вообще невозможно изменить, поэтому они имеют низкую стоимость и короткий жизненный цикл.

Классификация **по масштабируемости** означает эффективность обслуживания различного числа клиентов одновременно. Здесь можно выделить три основные группы: одиночные, групповые и корпоративные ГИС.

**Одиночные** геоинформационные системы формируются на автономном персональном компьютере. Они рассчитаны на обслуживание одного пользователя и создаются на основе настольных систем управления базами данных.

**Групповые** ГИС ориентированы на коллективное использование информации и строятся на базе локальной вычислительной сети.

**Корпоративные** ГИС являются результатом развития систем для рабочих групп. Они ориентированы на крупные компании и могут поддерживать территориально разнесенные сети. Как правило, эти системы формируются на базе иерархических структур, включающих несколько уровней. Такие ГИС используют один из вышеуказанных вариантов топологии сети. Классификация ГИС по проблемной ориентации зависит от области их применения. Здесь можно выделить экологические, природопользовательские, социально-экономические, земельно-кадастровые системы, системы коммунального и городского хозяйства, чрезвычайных ситуаций, навигационные, транспортные, торгово-маркетинговые, археологические, учебные, исследовательские и прочие системы.

Любая ГИС включает в себя пять основных элементов, формирующих понятие информационной системы. К таким элементам относятся аппаратные средства, методы и правила, данн ые, пользователи, программное обеспечение.

Аппаратные (технические) средства включают процессор, дисплей, клавиатуру, устройства ввода и вывода информации, ее анализа, преобразования, хранения.

Эффективность применения ГИС во многом определяют используемые методы и правила, то есть совокупность приемов (способов) достижения цели, а также точность составления плана выполнения работ, который разрабатывается в соответствии со спецификой решаемых в каждой организации задач. Методы и правила регламентируют поведение операторов, делая их стандартными в процессе эксплуатации системы и содержащегося в нем программного обеспечения.

Данные являются наиболее важным компонентом ГИС. Данные о пространственном положении (географические данные) и связанная с ними табличная (атрибутивная) информация формируются непосредственно пользователем ГИС или приобретаются у поставщиков на коммерческой или другой основе. В ГИС эти данные интегрируются с другими типами и источниками информации. При этом различными организациями могут применяться внешние, более мощные системы управления базами данных, для упорядочивания и использования имеющихся в их распоряжении сведений.

ГИС-технологии предназначены для широкого куга пользователей и специалистов, которые непосредственно применяют конкретный программный продукт. При этом можно выделить первичных пользователей или операторов, осуществляющих непосредственное взаимодействие с системой, и вторичных, являющихся обычными потребителями информации, то есть юридическими или физическими лицами. Вторичные пользователи используют ГИС для решения своих производственных, научных и прочих задач.

Программное обеспечение ГИС содержит инструментарий, необходимый для ввода, визуализации, анализа, преобразования, хранения, а также вывода атрибутивной и пространственной информации на какой-либо носитель (например, плоттер, принтер или в другие системы). Наиболее важными компонентами программных продуктов являются: приборы для ввода и обработки пространственной информации; система управления базами данных; инструментарий поддержки SQL-запросов, анализа и визуализации (отображения) информации; графический пользовательский интерфейс, обеспечивающий доступ к инструментам и функциям.

Как аппаратные средства, так и программное обеспечение не представляют собой единое неделимое целое. Для удобства их эксплуатации и ремонта, а также в целях разработки и отладки, эти два главных компонента геоинформационной системы формируются из отдельных модулей и блоков. Модуль (программный или аппаратный) представляет собой часть общей системы, которая предназначена для реализации конкретной специфической функции. Блоком (программным или аппаратным) является отдельный узел, включающий несколько модулей. Примером отдельного блока, входящего в аппаратные средства, может являться, например, блок питания, который, в свою очередь составляют отдельные модули, то есть плюсовые и минусовые элементы батареи. Применительно к программному обеспечению модулем может являться, например, часть программы, которая формирует вычисление координатной невязки полигонометрического хода. В данном случае блоком будет являться совокупность модулей, обеспечивающих уравнивание отдельного полигонометрического хода.

При всем многообразии операций, целей, а также областей применения создаваемых и действующих ГИС, в них логически и организационно можно выделить несколько основных модулей и блоков, обеспечивающих выполнение конкретных функций.

Известно, что ГИС работают с базами данных двух типов: геопространственными (пространственными) и атрибутивными (тематическими). В базах данных пространственной информации размещаются данные, которые принято называть графической или метрической основой. Атрибутивные базы данных описывают пространственные объекты. Оба вида баз данных представляют собой файлы, то есть поименованные наборы цифровых и описательных данных. Для работы с ними геоинформационная система должна иметь систему управления базами данных, при помощи которой осуществляется поиск, сортировка, добавление и исправление информации. В настоящее время некоторые системы, например, система управления базами данных Oracle, обеспечивают совместное хранение пространственной и атрибутивной информации. Кроме систем управления базами данных, любая ГИС включает систему визуализации данных, предназначенную для вывода на экран информации в виде карт, таблиц, схем и т. п., а также систему обработки и анализа данных, при помощи которой происходят обработка и анализ информации.

Система ввода представляет собой программный блок, обеспечивающий передачу данных. В него входят, как отмечалось выше, разнообразные электронные устройства (например, дигитайзер, сканер, электронный теодолит и т. д.). Кроме этого, информация может быть введена вручную с клавиатуры или получена из других систем. Ее источниками также являются аэрофото- и космические снимки, обрабатываемые на специализированных рабочих станциях

Система вывода ГИС предназначена для представления результатов работы в виде, удобном для потребителя

При помощи плоттера (графопостроителя) можно, например, получить качественные черно-белые и цветные изображения. Для этих целей используются также различные принтеры. Результаты работы могут быть представлены в виде видеофильмов, записанных на дисках, или в виде отчетов. В качестве внешних систем используется любое оборудование, включающее записывающее устройство.

ГИС становятся неотъемлемым средством изучения поверхности Земли и расположенных в ее пределах подземных, наземных и надземных объектов. Сфера применения геоинформационных систем непрерывно расширяется. Поэтому сложно перечислить все области использования ГИС, поскольку их возможности практически безграничны. ГИС позволяют назначить каждому физическому лицу, имеющему недвижимое имущество, координаты (X и Y). Например, земельный участок описан как объект недвижимости и зарегистрирован в едином государственном реестре прав на имя конкретного владельца. Границы земельного участка и его площадь определены с высокой степенью точности геодезическими методами. С помощью ГИС можно вычислить координаты центроидов земельных участков, то есть их центральных частей. Таким образом, за владельцем недвижимого имущества может быть закреплена пара условных координат, по которым можно найти как объект недвижимости, так и его владельца.

ГИС отвечают требованиям глобальной информатизации общества. Они способствуют решению управленческих, экологических, социальных, экономических и прочих задач на различных уровнях иерархии [1]:

1. Глобальный, который представляет Россию на мировом и евразийском уровне (масштаб 1 : 45 000 000 – 1 : 100 000 000).

2. Всероссийский, отображающий всю территорию страны, включая прибрежные акватории и приграничные районы (масштаб 1 : 2 500 000 – 1 : 20 000 000).

3. Региональный, обеспечивающий отображение крупных экономических регионов и субъектов федерации (масштаб 1 : 500 000 – 1 : 40 000 000).

4. Локальный, используемый для представления отдельной области, района или ареала кризисных ситуаций (масштаб 1 : 50 000 – 1 : 1 000 000).

5. Муниципальный, предназначенный для установления границ города, административных районов и пригородных зон (масштаб 1 : 10 000 – 1 : 50 000).

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что приоритетными и наиболее жизнеспособными системами являются те, которые служат информационным базисом в процессе: принятия решений на всех уровнях управления; научно обоснованного перспективного и оперативного планирования развития поселений и их отдельных территорий; оптимального проектирования объектов промышленного и гражданского назначения; разработки генерального плана города и контроля за его реализацией; изучения состояния экологических, социально-экономических, природно-ресурсных условий территорий и их экономической оценки; совершенствования функций учета и рационального использования городских земель и недвижимости (зданий и сооружений);получения достоверной информации о местоположении и эксплуатации инженерных сетей городского коммунального хозяйства; реализации рационального налогообложения, взимания платежей за загрязнение окружающей среды, использование природных ресурсов и недвижимого имущества; охраны прав собственности на объекты недвижимости и различные природные ресурсы.

Одними из первых пользователей ГИС были организации, осуществляющие охрану окружающей среды. Территориальные администрации применяют ГИС для анализа состояния недвижимого имущества, например, отслеживания транспортных средств дальнего следования и т. д. Однако основным назначением ГИС следует считать все же формирование знаний о процессах и явлениях, происходящих на земной поверхности, с целью их использования для решения практических задач. Таким образом, ГИС в настоящее время представляют собой современный тип интегрированной информационной системы, применяемой в различных сферах деятельности человека (рис. 18).

Значение ГИС для вооруженных сил, правоохранительных органов, скорой медицинской помощи, служб ГАИ и спасения, пожарных подразделений невозможно преувеличить, поскольку оперативная деятельность этих тесно связана с транспортными коммуникациями, конкретными адресами объектов и требует высокой слаженности работ указанных ведомств, а также знания окружающей обстановки.

Научно-исследовательские организации с помощью ГИС могут изучать рынки сбыта по регионам. При этом предоставляется возможность для разработки стратегии производства, а также разумного распределения средств на маркетинговые и рекламные компании. Кроме этого, ГИС позволяют смоделировать тенденции в сфере коммерческой деятельности для проектирования перспективных транспортных маршрутов с учетом рельефа местности, характера застройки и так далее.

Подразделениям Роснедвижимости ГИС нужны для ведения единого государственного реестра объектов недвижимого имущества и государственного кадастрового учета.

ГИС необходимы органам управления для планирования процессов застройки и их регулирования с учетом требований градостроительных норм и правил.

Сельские и городские администрации являются одной из крупнейших сфер применения ГИС. Их можно использовать для концентрации информации в процессе обследования земель, анализа способов их возделывания и использования, корректировки перспективных планов застройки. Местные органы власти могут использовать ГИС также для описания собственности (недвижимости), дорожных магистралей и инженерных коммуникаций, анализа материалов по мониторингу загрязнения окружающей среды и т. д.

В дополнение к традиционно используемым задачам управления, аналитические возможности ГИС можно реализовать в сфере охраны здоровья населения, в частности, для определения кратчайшего расстояния, например, от станции скорой помощи до пациента с учѐтом текущей ситуации на дорогах. ГИС можно использовать также в процессе анализа эпидемиологической обстановки, изучения характера распространения различных заболеваний и причин их возникновения.

В бизнесе задействовано огромное количество информации, касающейся данных об объемах продаж недвижимого имущества, товаров народного потребления, учета грузоперевозок, списков адресов участников рыночных отношений. Вся необходимая информация может быть представлена на электронной карте. Таким образом, ГИС обеспечивает выявление связей и закономерностей, которые невозможно получить в явном виде из таблиц, например, какова численность населения в окрестностях конкретного производителя продукции и т. д.

Образовательные учреждения применяют ГИС как для целей обучения студентов, так и для ведения кадастра образовательных учреждений.

Частные предприниматели нуждаются в ГИС для определения наиболее выгодного местоположения своих фирм с учетом транспортных артерий и численности населения.

Налоговые инспекции используют ГИС для определения местоположения облагаемых налогом объектов, динамики доходов в бюджет, неплательщиков земельного налога и т. д.

Работники жилищно-коммунального хозяйства также должны знать местоположение всех коммуникаций, расположенных на их территории, для оперативного устранения неполадок.

Геоинформационные системы защиты окружающей среды представляют собой важную группу ГИС. Согласно публикациям некоторых авторов, информационные системы защиты окружающей среды рассматриваются как расширенные ГИС, которые обеспечивают сбор, хранение, обработку и анализ пространственных, временных и тематических данных для описания состояния окружающей среды в условиях ее загрязнения. Эта информация может использоваться для регулирования экологической обстановки. Функционируют эти системы главным образом на базе средних и мелких масштабов. Однако имеют место также задачи, которые решаются в более крупных масштабах, например, в лесном хозяйстве, для утилизации промышленных отходов или охраны водного хозяйства. Такие системы имеют ряд отличительных признаков. Как правило, они гибридоориентированы. При этом они позволяют моделировать распространение природных процессов, хранить разнообразные данные в отношении окружающего пространства и оперировать интенсивно меняющейся во времени информацией. Компьютерное моделирование в этих условиях носит название проверки устойчивости окружающей среды. Такие системы применяются для сбора сведений с целью поддержания качества воздуха, сохранения почвенного слоя земли, определения влияния вредных выбросов промышленных предприятий на здоровье людей и растения, проверки воздействия радиоактивности, химических веществ и автотранспорта на окружающую среду, а также для сохранения среды обитания исчезающих видов живых организмов путем создания биотопов и заповедников. Биотоп представляет собой совокупность живых организмов одного вида, в течение нескольких поколений проживающих на конкретной территории.

Организации, осуществляющие наблюдение за динамикой изменения окружающей среды, используют аналитические возможности ГИС для моделирования процессов, происходящих в природе, изучения эрозии почв и разлива рек в случае половодья или выпадения большого количества осадков и т. д. После сбора информации производится ее аналитическая обработка. В этой области доминируют ГИС, использующие растровые данные.

ГИС незаменимы в управлении железными дорогами. Они используются для работы по координации оперативной деятельности, связанной с ремонтом и поддержанием железных дорог в рабочем состоянии. Основные функции, которые ГИС выполняет для обеспечения надежности перевозок и их рентабельности, включают маркетинг, графики движения поездов, информацию для пассажиров, работу аварийных служб, планирование объемов перевозок, прогнозирование экстремальных ситуаций.

Интенсивно развивающийся рынок требует все больших капиталовложений в развитие транспорта. Транспортные службы, эксплуатирующие автомобильные и железные дороги, мосты и туннели, воздушные и морские порты, широко используют возможности ГИС- технологий.

Детально продуманные подходы к организации пассажирских перевозок, основанных на надежной информации и современных методах управления, позволяют увеличить эффективность работы и, соответственно, прибыль транспортных компаний. ГИС в пассажирском транспорте используют для планирования и анализа маршрутов, составления графика движения транспорта, отслеживания передвижения транспортных средств, размещения остановок транспорта, учета и анализа дорожно-транспортных происшествий, реконструкции дорог, планирования объемов пассажирских перевозок и т. д.

Своевременная доставка товаров по назначению является целью организаций, занимающихся логистикой. Эффективное управление перевозками грузов требует разработки оптимальных маршрутов, удобных мест хранения товара, методов отслеживания транспортных средств и грузов, точного и своевременного реагирования на различные нестандартные ситуации. Процесс усовершенствования и внедрения новых, более эффективных подходов к перевозке и хранению грузов, также ориентируется на использование ГИС.

Авиация является отраслью, которая в настоящее время также не может обойтись без ГИС. Применение ГИС обеспечивает надежность и безопасность функционирования различных авиакомпаний. В гражданской авиации ГИС используются в целях управления воздушными и наземными службами, мониторинга взлетно-посадочных операций, контроля за строительными и ремонтными работами, планированием объемов перевозок грузов и пассажиров, проектированием новых воздушных коридоров и их реорганизации в случае экстремальных ситуаций.

Применение ГИС в нефтедобывающей отрасли является неотъемлемой частью бизнеса. ГИС используются для поиска нефтяных ресурсов, планирования бурильных работ, определения потенциала нефтяных скважин. ГИС облегчают нефтяным компаниям процесс прокладки трубопроводов, определение местоположения нефтеперерабатывающих заводов, управление инфраструктурой. Кроме этого, ГИС позволяют осуществлять анализ данных, полученных при аэрофотосъемках, дистанционном зондировании, сейсмических исследованиях, геологических изысканиях в районах месторождений нефти и газа, и решать многие другие важные задачи [43, 44, 64, 66, 68, 71, 72, 73, 74].

Телекоммуникации и средства сотовой связи являются наиболее динамичными отраслями, которые предлагают все более совершенные виды услуг. Решение многих задач в указанных направлениях требует четкого представления о пространственном расположении клиентов и транслирующих средств. Например, для достижения оптимального обслуживания клиентов компания сотовой телефонной связи размещает приемно-передающие станции таким образом, чтобы исключить конфликты между конкурирующими фирмами. Этого также позволяет достичь ГИС.

Выбор местоположения большинства новых супермаркетов за пределами центра города осуществляется с помощью ГИС. Кроме этого, ГИС используются для изучения социально-экономических нюансов и выявления потенциальных заказчиков на изучаемой территории. Расположение складских помещений и зон их обслуживания может быть запроектировано с помощью определения времени доставки грузов, а также моделирования влияния конкурирующих фирм. ГИС в этой сфере незаменимы.

Компании, обеспечивающие коммунальные услуги, являются наиболее активными пользователями ГИС. Геоинформационные системы в данном случае используются для построения базы данных о трубопроводах, кабелях, насосных и распределительных станциях и т. д. В этой области доминируют векторные ГИС. Широко используется также моделирование процесса использования различных прокладываемых коммуникаций в условиях их отклонений от требований инструкции. Наибольшее применение в этой области находят системы автоматизации картографирования (АК) и управления основными средствами (УОС). Функции АК и УОС используются для поддержания процессов прокладки кабелей, размещения задвижек, щитов обслуживания и т. д. [65, 70].

ГИС используются в секторе финансовых услуг так же, как и в сфере розничной торговли. Они применяются для определения местоположения филиалов банков. При этом существенным образом расширяются возможности применения ГИС в качестве инструмента для оценки риска вложений денежных средств в недвижимость, страхования имущества и определения степени риска. Это требует также наличия информации о криминальной обстановке и о характеристиках недвижимости. Такую информацию предоставляют ГИС.

Основной и наиболее трудоемкой задачей формирования любого проекта является сбор необходимых данных, которые преобразовываются в цифровой формат и вводятся в ГИС для дальнейшей обработки. В процессе управления данными выбор их типа (векторные, растровые) определяется объемом информации и возможностями программного обеспечения.

Любая ГИС работает с различными типами данных, описывающих изучаемые объекты: пространственными, атрибутивными, тематическими, метрическими и семантическими [2, 7, 14, 28, 30]. Эти данные являются наиболее дорогостоящим элементом системы и занимают значительный объем памяти.

***Пространственный объект*** – это любой конкретный объект, который характеризуется местоположением в пространстве и набором атрибутивных данных. Различают четыре основных типа пространственных объектов: точка, линия, полигон и поверхность.

***Пространственные данные*** – это цифровые данные о пространственных объектах, которые обеспечивают определение их пространственного положения, форму и свойства. Таким образом, пространственные данные позволяют описать местоположение пространственных объектов, их топологические свойства и содержательные характеристики.

***Атрибутивные данные*** формируют набор качественных и количественных характеристик конкретного пространственного объекта, не определяющих его местоположение. Эти данные связаны с пространственным объектом посредством идентификационного номера. Хранится такая информация в реляционных базах данных. Атрибутивные данные имеют широкий диапазон представления. Эта информация дополняет пространственную с необходимой степенью детализации. К такой информации относятся, например, данные о принадлежности объекта недвижимости, его назначении, виде хозяйственного использования и т. д.

***Тематические данные*** – это пространственные данные, отнесенные к конкретной предметной области.

***Метрические данные (метрика)*** – это информация об объекте цифровой топографической карты (плана), описывающая местоположение и параметры объекта.

***Семантические данные (семантика)*** – это информация об объекте цифровой топографической карты (плана), описывающая его сущность и свойства с помощью условных изображений.

Кроме вышеуказанных типов данных, существует также два типа структур данных: топология и слои.

Топология представляет собой раздел математики, который изучает свойства фигур, базирующиеся на понятии бесконечной близости (линии и поверхности) и сохраняющиеся в процессе непрерывных деформаций этих объектов. Простейшим примером отличия геометрии и топологии служит план транспортной системы. Изображение линий пересечений транспортных коммуникаций на схематическом плане имеет топологический характер. Кроме этого, остановки автобуса должны располагаться в обязательном порядке вдоль автобусного маршрута, лесной массив не должен пересекать водную поверхность и т. д. В отличие от этого, геометрическое представление транспортной сети заключается в ее отображении, например, на плане города. Таким образом, топология показывает в данном случае наличие связи между маршрутом автобуса и остановками транспортного средства, а геометрическое представление обеспечивает наглядность движения транспорта по улицам города.

***Слой*** – это таблица, в которой описаны объекты одного типа, например, телеграфные столбы, подземные коммуникации, здания, лесные массивы и т. д

**Представление пространственных данных в ГИС**

Объекты реального окружающего нас пространства после некоторых упрощений могут быть представлены средствами ГИС для дальнейшего использования специалистами в научной и производственной деятельности. Представление данных в ГИС осуществляется посредством пространственных (позиционных) и атрибутивных данных. Представление пространственных данных базируется на системе концепций и правил, используемых для описания типов объектов и взаимоотношений между ними. При этом одна группа аналитических функций может быть реализована на нескольких моделях, а другая – только лишь на одной конкретной модели. Кроме того, реализация одних и тех же функций на разных моделях данных может иметь свои особенности. Модель пространственных данных определяет характер практически всех используемых в дальнейшем операций и методов анализа, а также способов ввода и форм получения конечных результатов. Переход между различными моделями данных возможен, однако требует существенных дополнительных затрат труда и может привести к безвозвратной потере информации. Пространственные данные представляют собой информацию в цифровом виде, идентифицирующую географическое местоположение и свойства изучаемых естественных и искусственных объектов. Графическая база данных обеспечивает хранение информации о местоположении и размерах объектов. Она должна соответствовать принципу целостности. Это означает, что метрические, топологические и атрибутивные свойства отдельных элементов изучаемых объектов должны сохраняться. В целях достижения корректности графических баз данных разрабатываются классификаторы объектов по описательным и топологическим признакам. Таким образом, классификаторы позволяют обеспечить распознавание различных объектов (например, полигон с островом или без острова, минеральный и обычный источник питьевой воды и т. д.). Объекты, которые формируются в ГИС, могут иметь очень сложную форму, поэтому для их представления необходимы процессы аппроксимации или упрощения. В ГИС содержатся элементы, с помощью которых может быть описан практически любой объект реального мира с заданной степенью

Агент-ориентированное моделирование.

Определений агент-ориентированных моделей (АОМ) достаточно много. Рассмотрим то, которое предлагают авторы (2).

Итак, АОМ — это модель, обладающая следующими основными свойствами.

1. *Автономия*. Агенты действуют независимо друг от друга, и при этом предполагается, что в моделях нет единой регулирующей структуры, которая контролировала бы поведение каждого агента в отдельности. Однако при этом взаимодействие микро- и макроуровней в моделях осуществляется, как правило, следующим образом: на макроуровне задается общий для всех агентов набор правил, а совокупность действий агентов микроуровня, в свою очередь, может оказывать влияние на параметры макроуровня.

2. *Неоднородность*. Агенты отличаются друг от друга, причем различия между ними могут проявляться по многим параметрам (в случае агентов, отображающих людей, это могут быть такие переменные, как состояние здоровья, размер дохода, культурный уровень, а также правила принятия решений и т. д.). В этом отношении АОМ принципиально отличается от широко распространенных моделей с агентом-представителем.

3. *Ограниченная интеллектуальность агентов* (или ограниченная рациональность). Иными словами, агенты модели не могут познать нечто большее, выходящее за рамки макросреды модели.

4. *Расположение в пространстве*. Имеется в виду некоторая «среда обитания», которая может быть представлена как в виде решетки, так и в виде гораздо более сложной структуры — скажем, трехмерного пространства с заданными в нем объектами.

Помимо перечисленного общей особенностью всех АОМ и одновременно их главным отличием от моделей других классов является наличие в них большого числа взаимодействующих друг с другом агентов. Так, существуют АОМ, число агентов в которых достигает нескольких миллионов (см., например, модель, разработанную под руководством Дж. Эпштейна [Parker, 2007]). (Обычно в моделях социально-экономических систем присутствуют агрегированные агенты, представляющие собой либо отрасль, либо регион, либо совокупное домохозяйство. При этом спецификация агента происходит за счет оптимизации соответствующей функции полезности или же в модель включаются рассчитанные ранее экзогенные параметры, отражающие результаты решений агента. В литературе эти два подхода часто подвергаются обоснованной критике, поскольку они не всегда позволяют получить в рамках таких моделей реалистичные оценки взаимодействия агрегированных агентов. В то же время за счет более детальной спецификации в АОМ агентов микроуровня можно добиться того, что изменения параметров макроуровня будут более адекватными действительности.)

Итак, согласно перечисленным свойствам агент в АОМ является автономной сущностью, как правило, имеющей графическое представление, с определенной целью функционирования и возможностью обучения в процессе существования до того или иного уровня, задаваемого разработчиками соответствующей модели. Примеры агентов: 1) люди (равно Вообще говоря, агентами в АОМ могут быть любые наблюдаемые в реальной жизни объекты, при этом основной задачей их учета в рамках модели является их корректная спецификация.как и другие живые организмы); роботы, автомобили и другие подвижные объекты; 2) недвижимые объекты; 3) совокупности однотипных объектов.

Как правило, для описания агента используются параметры, переменные, функции, поведенческие диаграммы, например схемы UML (Unified Modeling Language), отражающие состояния агентов в определенный момент времени.

Агенты, имеющие графическое представление, могут перемещаться в рамках:

* евклидова пространства (2*D* или 3*D*);
* ГИС (геоинформационной системы, или системы, позволяющей создавать базы данных, сочетающие графическое и атрибутивное представление разнородной информации);
* решетки (в этом случае перемещение агентов происходит строго из одной ячейки в другую);
* сетевой структуры.

**История**.

Концептуальный прототип первой АОМ был разработан в конце 1940-х годов, однако широкое распространение эти модели получили в начале 1990-х годов — благодаря появлению микрокомпьютеров и возможности проводить компьютерные симуляции.

Принято считать, что АОМ берут свое начало с вычислительных машин Джона фон Неймана, являющихся теоретическими машинами, способными к самовоспроизводству.

Джон фон Нейман предложил использовать машины, которые следуют детальным инструкциям для создания точных копий самих себя. Впоследствии данный подход был усовершенствован другом фон Неймана Станиславом Уламом, который стал изображать машину на бумаге как набор клеток на решетке, положив тем самым начало развитию клеточных автоматов.

Наиболее известной реализацией взаимодействия клеточных автоматов стала игра «Жизнь», созданная Джоном Хортоном Конвеем (John Horton Conway). Она отличается от машины фон Неймана достаточно простыми правилами поведения агентов. Давно ставшая классической, эта игра демонстрирует интересное эмерджентное поведение при взаимодействии элементов популяции (закрашенных клеток) — это такое поведение, при котором дальнейшее развитие популяции представляет собой скачкообразный процесс, где возникновение качественно нового не является естественной закономерностью, а обусловлено вмешательством «идеальных сил».

Другой известный АОМ-клеточный автомат — это *сахарная модель* (SugarScape), предложенная Джошуа Эпштейном и Робертом Экстеллом.

Помимо названных моделей существует достаточно большое количество других АОМ-клеточных автоматов. Они схожи с рассмотренными выше, поэтому мы лишь кратко опишем наиболее известные.

* *Модель распространения инфекции.* В двумерном пространстве задается совокупность людей, поделенных на три группы: 1) потенциально инфицированные, но пока здоровые; 2) инфицированные и 3) здоровые и уже обладающие иммунитетом. Люди могут умереть либо от болезни, либо от старости. В процессе работы модели они перемещаются в пространстве и вступают друг с другом в контакт. Изменяя численность здорового и инфицированного населения, способ перемещения людей, возрастной порог, вероятность смерти от инфекции и прочие параметры, можно моделировать скорость распространения инфекции и определять условия, при которых рассматриваемому социуму удается полностью победить болезнь [Yorke, 1979; Wilensky, 1998].
* *Модель сегрегации Томаса Шеллинга* (американского экономиста, лауреата Нобелевской премии 2005 г.). В оригинальной версии модели рассматривается проблема расовой сегрегации в Америке и присутствуют два типа агентов — черные и белые жители, распределенные на двумерной решетке, с мягкими предпочтениями относительно цвета агентов-соседей. По результатам расчетов было выявлено, что расовая сегрегация не зависит от внешних причин (к примеру, административных воздействий на социум), а возникает за счет индивидуальных взаимодействий агентов.
* *«Тепловые жуки» (Heat Bugs)* — модель простой биологической системы, в которой агенты-жуки перемещаются в двумерном дискретном пространстве. Для каждого агента существует идеальная температура среды — та, в которой он предпочел бы находиться. Для поиска такого места каждый жук имеет сенсор, который помогает ему определить нужное направление для перемещения. Сами жуки также постоянно выделяют тепло, меняя тем самым комфортность среды обитания, и это тепло распространяется по определенным правилам. Несмотря на простоту модели, выживаемость популяции жуков труднопредсказуема и сильно зависит от первоначально заданных параметров.

Клеточные автоматы позволяют создавать сложные объекты из простых компонентов, и, по сути, они представляют собой нечто большее, чем абстракции. Их характеризуют как стилизованные синтетические миры, определенные простыми правилами. Выделяют два фундаментальных свойства — параллелизм и локальность, позволяющие практически без ограничений увеличивать размеры моделей, разбивая вычисления по процессорам компьютера. Благодаря этим свойствам клеточные автоматы обладают огромным потенциалом для исследований в различных областях науки.

Одновременно с клеточными автоматами возникло новое научное направление — компьютерное имитационное моделирование, которое в настоящее время представлено следующими основными видами:

1) системная динамика;

2) дискретно-событийное моделирование;

3) агентное моделирование.

Все эти виды моделирования применяются, в частности, для решения социальных и экономических задач на разных уровнях абстракции. Агентное моделирование, развитие которого напрямую определяется увеличивающимися вычислительными возможностями современных компьютеров, позволяет представить (смоделировать) систему практически любой сложности из большого количества взаимодействующих объектов, не прибегая к их агрегированию. Появились программные средства, позволяющие сочетать все вышеперечисленные направления имитационного моделирования.

Наибольшие трудности возникают при совмещении объектов разного уровня абстракции в рамках одной модели, и разработчики математических моделей социально-экономических систем все чаще ставят вопрос об актуальности задачи построения иерархических динамических моделей, которые бы включали субъектов макроуровня и агентов микроуровня, причем их поведение должно быть описано более реалистично, чем это позволяют сделать применяемые на практике методы их представления. АОМ дают возможность совмещать агентов разного уровня абстракции, более того, практически любая модель, основанная на двух других парадигмах имитационного моделирования (на системной динамике и дискретно-событийном моделировании), может быть легко конвертирована в АОМ и уже в таком качестве использовать преимущества агентного подхода.

Cистемная динамика в основном используется для решения задач на высоком уровне абстракции, дискретно-событийное моделирование — на низком и среднем уровнях, а агентное моделирование, как уже было сказано, применимо на всех уровнях. К высокому уровню абстракции относятся, в частности, задачи прогнозирования динамики населения страны; на низком уровне реализуются микроуровневые модели, например маршруты движения пешеходов; наконец, средний уровень абстракции представляют такие задачи, как оптимальное планирование перевозок внутри региона.

С середины 1990-х годов АОМ стали использовать для решения множества коммерческих и технологических задач, например:

* оптимизация сети поставщиков и планирование перевозок;
* планирование развития производства;
* прогнозирование спроса на продукцию и объема продаж;
* оптимизация численности персонала;
* прогнозирование развития социально-экономических систем (городов, регионов);
* моделирование миграционных процессов;
* имитация и оптимизация пешеходного движения;
* моделирование транспортных систем;
* прогнозирование состояния окружающей среды и т.д.

Естественно, что подобные технологии привлекли внимание военных, к примеру военно-научного агентства *DAPRA,* являющегося крупнейшим инвестором проектов в области искусственного интеллекта и робототехники. При разработке современного оружия активно используются системы искусственного интеллекта (в основном нейронные технологии и нечеткие экспертные системы). Например, для реализации режима автономного полета на небольшой высоте и в плохих условиях без заранее подготовленной компьютерной базы рельефа требуются высокоэффективные механизмы синхронизации движения с данными, получаемыми от систем навигации, видеокамер, радаров и других датчиков. Использование искусственного интеллекта позволяет с помощью относительно малых ресурсов получать достаточно точные результаты, для вычисления которых классическими методами численной математики понадобились бы суперкомпьютеры [Круглов, Борисов, 2002].

То же относится и к АОМ. К сожалению, разработки военных по данной тематике являются закрытыми, что вполне естественно, однако нам удалось найти материал, позволяющий составить представление о проводимых исследованиях.

В США уже более десяти лет осуществляется разработка системы анализа эффективности симуляций (The System Effectiveness Analysis Simulation, SEAS) — инструмента, позволяющего моделировать военные операции и проигрывать различные варианты боевых действий с целью нахождения наиболее эффективной стратегии для заданной местности с учетом имеющегося арсенала и количества боевых единиц. Финансирование этого проекта осуществляют Командование воздушных сил США (Air Force Space Command), Центр космических и ракетных систем (Space and Missile Systems Center), Управление планирования развития (Directorate of Developmental Planning).

По заверениям разработчиков, SEAS представляет собой самую современную систему, использующую технологию АОМ для отработки сценариев как крупномасштабных военных столкновений, так и локальных конфликтов, а специально разработанный 3*D*-интерфейс позволяет участвовать в обсуждении рассматриваемых вариантов боевых действий экспертам из различных областей — непрофессионалам в области построения АОМ.

Среда моделирования позволяет оперировать как базовыми параметрами (ландшафт местности, количество основных боевых единиц: пехота, самолеты, танки и другая техника), так и дополнительно введенными переменными. Таким образом, можно расположить на местности смешанные боевые соединения, пункты снабжения топливом и продовольствием для каждой из воюющих сторон, задать боевые характеристики всех видов вооружения (поражающая способность, сила брони и т. д.) и получить предположительные результаты боя (рис. 1.14). Имея такие данные и выслушав мнения экспертов относительно возможных итогов столкновения, лицо, принимающее решение, может отказаться от боевых действий или, наоборот, стянуть в район конфликта дополнительные силы.

Учитывая развитие компьютерной техники, есть основания полагать, что данная АОМ, разработанная для военных целей, далеко не единственная. В отличие от прочих она носит открытый характер, т. е. может быть выслана по запросу, и, по всей видимости, в ее доступности есть особый смысл. Так, разработчики системы активно призывают к сотрудничеству, начиная с главной страницы сайта: «*Have an idea for a new feature you’d like to see in SEAS?*» Вполне возможно, что наиболее удачные идеи сторонних разработчиков находят применение уже в закрытых для общественности программных продуктах.

Преимущества АОМ перед другими средствами имитационного моделирования заключаются в следующем.

1. АОМ позволяют смоделировать систему, максимально приближенную к реальности. Степень детализации АОМ, по сути, ограничена только возможностями компьютеров. Более того, в ряде АОМ передвижение агентов задается без использования сложных формул, но с помощью заранее определенных маршрутов и простых правил, которые, с одной стороны, имитируют адаптивное мышление в процессе принятия решений, а с другой — позволяют получить неочевидные результаты на уровне агрегированных параметров. Примерами таких АОМ могут быть модели, имитирующие передвижение пешеходов, покупателей в крупных торговых центрах, спецтехники на складах и т. д.
2. АОМ обладают свойством эмерджентности.
3. возможность построения моделей при отсутствии знаний о глобальных зависимостях в соответствующей предметной области. Важно представлять логику поведения отдельных агентов, а моделирование может помочь в получении более общих знаний об изучаемом процессе.
4. АОМ являются гибким инструментом, позволяющим легко добавлять агентов в модели и удалять их, а также менять параметры и правила их поведения.

Современные исследователи считают, что агентное моделирование дополняет традиционные аналитические методы, а также ограниченно включает в себя упомянутые выше подходы имитационного моделирования, поскольку последние могут применяться «внутри» агентной модели при формализации ее отдельных активных объектов или агентов [Паринов, 2007]. Появление АОМ можно рассматривать как результат эволюции методологии моделирования: переход от мономоделей (одна модель — один алгоритм) к мультимоделям (одна модель — множество независимых алгоритмов).

АОМ могут объяснить причину возникновения таких явлений, как террористические организации, войны, обрушение рынка акций и т. д. В идеале АОМ могут помочь идентифицировать критические моменты, после наступления которых чрезвычайные события будут иметь необратимые последствия.

## Программное обеспечение для реализации агент-ориентированных моделей

В этом разделе мы перечислим наиболее известное программное обеспечение для построения АОМ.

Вообще говоря, для АОМ не требуется специализированных программ, в принципе можно применять средства разработки широкого профиля (C#, Delphi и т. д.). Однако специализированные программы содержат набор готовых библиотек для представления агентов и их среды, т. е. такие операции, как визуализация двумерной решетки, перемещение агентов по ней, в них значительно упрощены, и поэтому предпочтительнее использовать имеющийся арсенал описываемых ниже средств.

Пакет **SWARM** является набором библиотек, написанных на языке Objective-C и служащих основой для разработки сложных мультиагентных систем. Известные примеры применения данного пакета — моделирование движения пешеходов, изучение поведения толпы во время массовых мероприятий.

**REPAST** (REecursive Porous Agent Simulation Toolkit) представляет собой IDE (Integrated Development Environment) для разработки АОМ, по функциональности сравнимый с описанным далее AnyLogic. Из достоинств следует отметить:

* удобство разработки моделей;
* открытые исходные коды и бесплатность дистрибутива;
* удачные методы презентации;
* встроенную многопоточность.

Пакет Repast вариативен и поддерживает несколько языков программирования в зависимости от соответствующих реализаций: RepastPy (поддержка языка Python); RepastJ и Repast Simphony (язык Java); Repast.NET (поддержка .NET-языков). Сейчас основным трендом развития Repast является поддержка пакета Repast Simphony (RepastS), объединяющего функциональность RepastJ и Repast.NET.

RepastS был разработан в 2006 г. и вобрал в себя все предыдущие удачные решения, он предоставляет улучшенную поддержку геоинформационных систем и усовершенствованный GUI (графический интерфейс) для разработки 2D- и 3D-приложений. Кроме того, RepastS содержит методы для реализации агентных моделей на базе NASA World Wind — трехмерного интерактивного виртуального глобуса, созданного NASA. Также существует версия Repast, предоставляющая возможность разработки высокопроизводительных АОМ — RepastHPC (см. главу 2).

Простой и доступной программой для разработки АОМ является бесплатно распространяемое приложение **NetLogo**[[1]](#footnote-2). Изначально NetLogo был создан как учебный инструмент, однако сейчас им пользуются не только студенты, но и тысячи исследователей. Эту программу часто применяют в вузах для обучения студентов основам АОМ.

Также следует упомянуть **MASON**, **EcoLab**, **SOARS**, **Cormas**, однако больших отличий от уже описанных средств разработки АОМ в них нет.

Отдельно стоит рассказать про пакет **AnyLogic**. Он является продуктом нового поколения для разработки и исследования имитационных моделей, причем это единственный российский профессиональный инструмент имитационного моделирования, успешно конкурирующий с зарубежными аналогами.

В отличие от перечисленных выше пакетов для построения АОМ AnyLogic — коммерческий продукт, и поэтому он лишен многих недостатков, присущих open source продуктам, разработчики которых снимают с себя ответственность за качество и эффективность программных средств ввиду бесплатного их распространения.

AnyLogic поддерживает различные подходы к моделированию, в том числе и агентный, для которого содержит специальную библиотеку классов AnyLogic Agent Based Library, предоставляющую возможность задавать необходимую функциональность у агентов модели. AnyLogic поддерживает все возможные способы задания поведения агентов — диаграммы состояний (стейтчарты), синхронное и асинхронное планирование событий[[2]](#footnote-3).

Пакет AnyLogic располагает хорошими средствами визуализации и позволяет имитировать различные процессы, происходящие в производстве, бизнесе, а также в окружающей среде. К примеру, компания «Экс Джей Текнолоджис» совместно со специалистами французской консультационной фирмы EMSYSS разработала имитационную модель Эйфелевой башни, которая воспроизводит внутреннее пространство, сооружения (с учетом режимов работы лифтов и других событий), а также потоки перемещающихся по башне посетителей, причем в модели учитывается их индивидуальное поведение, типология и прочие параметры. Целью разработки агентной модели была оптимизация потоков туристов: желающих подняться на знаменитую достопримечательность французской столицы так много, что они создают постоянные очереди, которые в разгар сезона отнимают у посетителей до двух часов.

Резюмируя, отметим, что на данный момент существует более сотни программных решений, позволяющих минимизировать время разработки АОМ.

совмещение АОМ и геоинформационных систем является одним из главных и наиболее перспективных направлений в теории и практике АОМ.

Использование ГИС для АОМ очень перспективно, поскольку в этом случае среда функционирования агентов становится максимально приближенной к реальности.

В качестве главных требований к моделям, разрабатываемым на базе ГИС, выделяют способность поддерживать все операции, реализуемые в модели на уровне ГИС, а также удовлетворительную производительность всей модели [Longley, Goodchild, Maguire, Rhind, 2005]. На практике при реализации АОМ на базе ГИС с большими объемами данных наибольшие трудности вызывает обеспечение второго требования, так как в ГИС изначально не предусматривалась возможность осуществления множества итераций с большим количеством одновременно выполняемых запросов со стороны агентов в рамках каждой из них [Crooks, Castle, 2012].

Выделяют два способа интеграции АОМ и ГИС [Ibid.]. В рамках первого АОМ и ГИС остаются отдельными программными продуктами, а второй предполагает создание единой системы (рис. 3.3).

При осуществлении первого способа интеграции возможны два типа связывания.

1. Слабая, или неплотная, связь. Используется в случае выполнения асинхронных операций. На уровне ГИС готовятся входные для модели данные, которые затем поступают в АОМ для обработки и последующей передачи результатов в ГИС для графического отображения. Этот подход предусматривает, что ГИС и АОМ «понимают» форматы данных друг друга или необходимо написать соответствующий конвертер.

2. Сильная связь. Характеризуется одновременным выполнением программного кода АОМ и команд ГИС, к примеру через COM или .NET-интерфейсы. Один из вариантов данного подхода также предполагает, что процессы могут быть запущены на нескольких компьютерах, объединенных в сеть, т. е. в режиме распределенной обработки.

Сравнительные исследования типов связывания позволили установить следующие закономерности [Westervelt, 2002]:

* скорость разработки в первом случае выше, и при этом профессионализм разработчика может быть ниже, чем во втором случае;
* производительность приложения, разработанного с помощью сильного связывания АОМ и ГИС, значительно выше, однако отладить приложение сложнее.

В то же время наш опыт разработки АОМ на базе ГИС показал, что большой разницы в отладке приложения в первом и во втором случае нет.

Второй способ — интегрирование АОМ и ГИС в единую систему, называемую ГИС-центричной или АОМ-центричной в зависимости от того, на базе какого из инструментов осуществлено интегрирование [Maguire, 2005]. При этом, как правило, в рамках общей системы применяется программный язык базового инструмента. Интерес к АОМ-центричным системам объясняется тем, что при их использовании для разработки АОМ на базе ГИС не требуется особых программистских навыков. Доступ к функционалу ГИС достигается с помощью специальных библиотек. Так, к примеру, в пакете RepastJ для импорта и экспорта данных ГИС используется библиотека GeoTools, для обработки ГИС-данных — библиотека Java Topology Suite (JTS), а для визуализации — библиотека OpenMap.

Другим примером АОМ-центричной системы является пакет Repast Simphony. В интернете в свободном доступе есть неплохой пример, демонстрирующий возможности использования ГИС на базе данного пакета, — программа RepastCity, моделирующая небольшой город, по дорогам которого перемещаются агенты-люди[[3]](#footnote-4). При этом в АОМ данные представлены в формате shapefile.

Агенты модели случайным образом выбирают здание, перемещаются туда, а затем возвращаются домой (рис. 3.4). В листинге 3.1 приведен фрагмент программного кода (на языке Java), где сначала определяется, есть ли у агента пункт назначения, а затем осуществляются вышеупомянутые действия.

На практике первый вариант интеграции используется чаще [Crooks, Castle, 2012]. На основе личного опыта применения различных систем отметим, что совместное использование ArcGIS и Microsoft Visual Studio предоставляет разработчику гибкие и богатые возможности моделирования, хотя и более трудоемкие, чем у рассмотренных выше пакетов. По возможностям геообработки семейство продуктов ArcGIS является одним из лидеров среди ГИС, а Visual Studio позволяет создавать АОМ практически любого уровня сложности. Ниже мы вернемся к обсуждению совместного использования этих продуктов.

Начиная с версии ArcGIS 8.1 разработчики ГИС получили доступ к библиотеке ArcObjects, основанной на COM-технологии и включающей тысячи компонентов, которые охватывают полный спектр функциональных возможностей, используемых во всей линейке продуктов ArcGIS. С помощью ArcObjects можно решать самые разные задачи. До выхода 10-й версии ArcGIS (в настоящее время последней) вместе с ArcInfo поставлялась среда разработки Visual Basic for Applications (VBA), хотя для работы с ArcObjects можно использовать любой язык программирования, поддерживающий COM-технологию (Delphi, Visual C++ и т.д.).

Компания ESRI официально объявила, что после 10-й версии в программе ArcGIS поддержка VBA больше осуществляться не будет. Поэтому разработчикам настоятельно рекомендуется переписать имеющиеся приложения, реализованные на VBA, с помощью других языков программирования. Приоритетными средствами разработки для ArcGIS, чаще всего используемыми в руководствах и рекомендуемыми компанией ESRI, являются C#, VB.NET и Python.

На рис. 3.6 приведены результаты теста производительности разных языков программирования в рамках взаимодействия с ArcGIS посредством технологии COM Interop, позволяющей осуществлять взаимодействие между .NET- и COM-объектами.

Как видно из рис. 3.6 — и это отмечает также компания ESRI, — скорость выполнения кода, написанного на C++, заметно выше, чем скорость выполнения эквивалентного кода, написанного на VB.NET, C# и др. Помимо этого, перечисленные программные средства используются преимущественно на платформе Windows, в то время как C++ и Java кроссплатформенны. Мы уже упоминали об окончании поддержки VBA, что же касается Python, то его реализация в рамках ArcGIS предполагалась в основном для геообработки, в то время как для задач, связанных с АОМ, большей функциональностью обладают другие средства.

Глава 3.

//В данной главе будет дана скорее вспомогательная информация, направленная не прямо на ключевой объект диплома, а на некоторые инструменты, с помощью которых решается поставленная задача. Такими инструментами являются реляционные базы данных, в нашем случае, Oracle, также .net, с помощью которого реализуется интерфейс. Про реляционные СУБД – не очень обширно, так как это не основная тема, рассказать какие-то основные понятия(может для этого немного вообще про БД, СУБД), также здесь уже немного приведена теория про гис на основе реляционных СУБД(это вроде как основная тема диплома, может, раз она основная, то должна быть не здесь)

Совокупность цифровых данных о пространственных объектах образует множество *пространственных данных*и составляет содержание *баз географических данных,*определяет принципы построения информационного обеспечения ГИС.

Анализ общего состава данных необходим уже на этапе проектирования ГИС и требует ответа, по крайней мере, на ряд основных вопросов:

* имеется ли возможность сбора, хранения и обновления географических данных?
* каковы ожидаемые объемы данных и их форматы?
* Какой объем данных необходимо преобразовать в цифровую

форму, сколько времени это займет и сколько будет стоить?

* каковы качество и надежность данных?
* какого рода затруднения могут возникнуть при обработке собранных данных?

Выявление географических объектов и явлений и последующий выбор адекватного представления данных о них являются составной частью процесса, именуемого проектированием базы данных (БД).

В ГИС пользователь рассматривает реальный мир через призму тематической базы данных. Измерения и выборки, содержащиеся в базе данных, должны как можно полнее и точнее соответствовать предмету исследования и его основным характеристикам. Представление данных должно учитывать типы их возможных преобразований. К созданию БД ГИС предъявляются высокие требования, связанные с пространственной формой организации и представления данных.

***Требования к базе данных.***База данных должна быть:

- согласованной по времени – хранящиеся в ней количественные данные должны соответствовать определенному времени, быть актуальными;

- полной, достаточно подробной для предполагаемого создания ГИС или картографического произведения; категории данных и их подразделения должны включать все необходимые сведения для осуществления анализа или математико-картографического моделирования исследуемого объекта или явления;

- позиционно точной, абсолютно совместимой с другими данными, которые могут добавляться в нее;

- достоверной, правильно отражающей характер явлений, для этого необходимо четко определить включенные в нее атрибуты явлений;

- легко обновляемой;

- доступной для любых пользователей.

***Проектирование базы данных.***В процессе проектирования БД обычно выделяют три основных уровня: концептуальный, логический и физический.

Концептуальный уровень не зависит от имеющихся аппаратных и программных средств. Для БД ГИС он связан с концептуальной моделью географических данных и включает: описание и определение рассматриваемых объектов; установление способа представления географических объектов в базе данных; выбор базовых типов пространственных объектов – точки, линии, ареалы, ячейки растра; решение вопроса о способе представления размерности и взаимосвязей реального мира в БД (например, следует ли показать здание в виде ареала или точки). На концептуальном уровне определяется и содержание базы данных, в свою очередь определяемое сутью явления, характером его пространственного распространения и задачами, для которых создается БД. Здесь следует выделить задачи создания одной или серии карт, комплексного картографирования, создания синтетических карт для многоцелевого и многократного использования.

Логический уровень определяется имеющимися программными средствами и практически не зависит от технического обеспечения. Он включает разработку логической структуры элементов базы данных в соответствии с системой управления базами данных (СУБД), используемой в программном обеспечении. Наиболее распространенными логическими структурами – моделями БД и их СУБД – являются иерархическая, сетевая, реляционная (рис. 16).

В иерархической модели (рис. 16, о) записи данных образуют древовидную структуру, при этом каждая запись связана только содной записью, находящейся на более высоком уровне. Доступ к любой записи осуществляется по строго определенным «веткам» и узлам такого дерева. Иерархические модели хорошо подходят для задач с явно выраженной иерархически соподчиненной структурой информации и запросов. Они обладают низким быстродействием, трудно модифицируемы, но эффективны с точки зрения организации машинной памяти.

В сетевых моделях (рис. 16,*б)*каждая запись в каждом из узлов сети может быть связана с несколькими другими узлами; кроме данных записи содержат указатели, определяющие местоположение других записей, связанных с ними. Такие модели очень трудно редактировать, например удалять записи, так как вместе с данными нужно редактировать и указатели. Подобные модели хорошо работают в случае решения сетевых,

81

коммуникационных задач.

В иерархической и сетевой моделях для поиска конкретной записи необходимо вначале определить путь доступа к записи, а затем просмотреть все записи, находящиеся на этом пути.

Реляционные СУБД завоевали самую широкую популярность. Они свободны от всех ограничений, связанных с организацией хранения данных и спецификой запоминающих устройств. Эти модели имеют табличную структуру: строки таблицы соответствуют одной записи сведений об объекте, а столбцы – поля – содержат однотипные характеристики всех объектов. Всевозможные способы индексации данных существенно сокращают время поиска и запроса к данным. К числу наиболее известных СУБД реляционного типа относятся dBASE, Clipper, Foxbase, Paradox, ORACLE (последняя особенно подходит для больших объемов данных).

Физический уровень связан с аппаратными и программными средствами. На этом уровне определяются объемы хранимой в БД информации и необходимые объемы памяти компьютера (оперативной и долговременной), рассматриваются вопросы о структурировании файлов на диске или других носителях информации для обеспечения программного доступа к ним, представления данных в памяти компьютера (целые, действительные числа, байты или буквенно-цифровые характеристики).

***Позиционная и атрибутивная составляющие данных.***Пространственные данные, как упоминалось ранее, традиционно подразделяются на две взаимосвязанные составляющие – позиционные и непозиционные.

Позиционная составляющая характеризует положение географических объектов (или пространственную форму) в координатах двух- и трехмерного пространства – декартовых*(х,у, z)*или географических (срА).

Непозиционная составляющая данных включает качественную характеристику пространственных объектов (семантику) и статистику; эта информация называется атрибутивной и представляется в виде текстовых или числовых параметров. Она соответствует тематической форме данных или кодированному представлению взаимосвязей объектов (топологии). Почти всегда тип объекта маркируется и опознается по его атрибутивным параметрам (дорога имеет название и идентифицируется по ее классу – грунтовая, с асфальтобетонным покрытием). Обычно атрибутивная информация не имеет пространственного характера, хотя некоторая ее часть может быть связана с пространственной природой изучаемого объекта, например, площадь, периметр.

В качестве атрибутивной информации часто выступает время (временная форма), которое может отражаться несколькими способами: указанием временного периода существования объектов, соотнесением информации с определенными моментами времени, указанием скорости движения объектов.

Количественные атрибуты создаются в соответствии с номинальными, порядковыми, интервальными или пропорциональными шкалами измерений. Важно знать, какие шкалы измерений использованы для данных, поскольку это определяет характер возможных математических операций с ними.

Как упоминалось ранее, составляющие пространственных данных кратко называют *геометрией*и *атрибутами.*

***Представление точечных, линейных и площадных объектов в базе данных и на цифровой карте.***В БД ГИС картографические источники и итоговые карты представляются в виде *цифровых карт*(см. 2.1.3)

**[Геоинформатика, 1999].**

Любая БД состоит из цифровых представлений дискретных объектов. Содержание карты можно хранить в БД в виде цифровой карты, превратив объекты карты в объекты базы данных. Правда, всегда нужно помнить о том, что многое из показанного на картах умозрительно не представлено в реальном мире: горизонтали в природе не существуют, а вот дома и озера – это реальные объекты.

Итак, географические объекты, моделируемые с помощью карты или ГИС, имеют три формы представления:

- объект в действительности;

- объект, представленный в базе данных (некоторые авторы вводят для таких объектов наименование «предмет»);

- знак, который используется для показа объекта (предмета) на карте или на другом графическом изображении.

(Мы будем во всех случаях использовать наименование «объект», поскольку о чем идет речь, обычно понятно из контекста.

Предназначенный для отражения в БД или цифровой карте объект – это явление действительности, последнее в ряду подразделения однотипных явлений при выборе «элементарных кирпичиков» для информационного моделирования; например, город можно считать объектом, при его подразделении на составные части они уже будут не городами, а районами, кварталами и т.п.

*Объект в БД –*это цифровое представление всего реального объекта или его части. Способ цифрового представления объекта зависит от назначения ГИС, масштаба исследования, его задач и других факторов, например, географически город может быть представлен в виде точки, если рассматриваемая территория имеет масштабы материка; если речь идет о базе географических данных области, тот же город может быть представлен ареалом.)

Сходные явления, информация о которых хранится в базе данных, определяются как типы объектов – любая группа сходных явлений, которые должны иметь одинаковую форму хранения и представления, например дороги, реки, высоты, растительность; тем самым обеспечивается основа для формирования общего атрибута явлений. Каждый тип объектов должен быть точно определен, что помогает выявить перекрывающиеся категории данных и вносит ясность в содержание базы данных.

***(Основные элементы базы данных.***Для цифрового представления типов реальных объектов необходимо выбрать подходящую форму объектов, являющихся представителями первых (кодами) в базе пространственных данных. Их классификация может быть основана на представлении пространственной размерности (см. 2.1.2).

Такие объекты хорошо отражают тип пространственной локализации реальных объектов. Они могут быть объединены в классы, например множество точек для представления множества городов.

Пространственные типы объектов БД могут группироваться в слои, именуемые также покрытиями или темами. Один слой представляет один тип объектов или группу концептуально взаимосвязанных типов объектов. Например, слой может включать только отрезки водотоков, или же водотоки, озера, береговую линию и болота. Возможны самые разные варианты системы слоев, как и модели данных. Некоторые базы пространственных данных создаются путем объединения всех объектов в один слой.

Одни и те же географические явления можно представить в разных масштабах и с разной точностью. Переход от одного представления к другому достаточно сложен, например переход от мелкого масштаба (1: 250 000) к крупному (1 : 10 000). Поэтому часто встречаются базы данных, содержащие множественные представления одних и тех же явлений. Это неэкономно, но избежать этого пока не удается, ибо соответствующие методы перехода еще недостаточно разработаны.)

**Системы управления базами данных в ГИС.**Как правило, ГИС создаются на основе уже существующих систем управления базами Данных (СУБД), приобретение или аренда СУБД составляет основную часть затрат на программное обеспечение системы. СУБД выполняет множество функций, которые в противном случае следовало бы программировать в ГИС. Различают два пути использования СУБД в ГИС:

1)выполнение ГИС-процедур полностью через СУБД, тогда Доступ ко всем данным осуществляется только через СУБД и все данные должны удовлетворять требованиям, заложенным при ее разработке;

2)некоторые данные (обычно таблицы атрибутов и их отношений) доступны через СУБД, поскольку они вполне соответствуют модели, а к некоторым данным (обычно пространственно локализованным) доступ прямой, так как они не удовлетворяют требованиям модели СУБД.

(ГИС добавляет географический аспект к уже существующим методам поиска и запроса. Сложность и разнообразие представления данных в ГИС, различимость в представлении позиционной и атрибутивной составляющей информации, необходимость ее обработки в контексте пространственной близости предъявляют своеобразные и повышенные требования к СУБД по сравнению с традиционной формой их использования.)

***Функции СУБД.***Каждую СУБД принято характеризовать способностью выполнять следующие основные функции:

• управление данными во внешней памяти;

• управление буферами оперативной памяти;

•операции над БД;

•обеспечение надежности хранения данных в БД;

•поддержка языка управления БД.

***Управление данными во внешней памяти.***Эта функция обеспечивает организацию структуры внешней памяти как для хранения данных, входящих в БД, так и для служебных целей, например, для ускорения доступа к данным.

***Управление буферами оперативной памяти.***СУБД обычно работают с БД значительного размера, существенно большего доступного объема оперативной памяти. Для того чтобы СУБД не зависела от скорости работы устройств внешней памяти, используется организация собственных наборов буферов оперативной памяти с определенными правилами замены и обновления буферов.

***Операции над БД.***Последовательность операций над БД, рассматриваемых СУБД как единое целое, называется транзакцией. При выполнении транзакции СУБД либо фиксирует во внешней памяти изменения в БД, произведенные этой транзакцией, либо не производит никаких изменений. Понятие транзакции важно для сохранения логической целостности БД, особенно в многопользовательских СУБД. Каждая транзакция начинается при целостном состоянии БД и оставляет это состояние целостным после своего завершения. При эффективном управлении параллельно транзакциями со стороны СУБД каждый из пользователей может ощущать себя единственным ее пользователем.

(Управление транзакциями в многопользовательской СУБД осуществляется с помощью специальных операций, которые объединяют транзакции одного пользователя в серии (сериализация транзакций), при этом суммарный эффект смеси транзакций эквивалентен эффекту их последовательного выполнения. Существует несколько базовых алгоритмов сериализации транзакций, среди которых наиболее распространены алгоритмы, основанные на синхронизационных захватах объектов БД.)

***Обеспечение надежности хранения данных в БД.***Одним из основных требований к СУБД является надежность хранения данных во внешней памяти, т.е. СУБД должна обладать способностью восстановления последнего согласованного состояния БД после любого аппаратного или программного сбоя. Возможны два вида аппаратных сбоев: «мягкие» сбои, которые приводят к внезапной остановке работы компьютера (например, аварийное выключение питания), и «жесткие» сбои, характеризуемые потерей информации на носителях внешней памяти. Программные сбои – это аварийное завершение работы СУБД или аварийное завершение пользовательской программы, в результате чего некоторая транзакцияостается незавершенной. Для восстановления БД нужно располагать некоторой дополнительной информацией, что требует избыточности хранения данных. Наиболее распространенным методом поддержания такой избыточной информации является ведение журнала изменений БД.

Журнал – это особая часть БД, недоступная пользователям СУБД и поддерживаемая с особой тщательностью (иногда поддерживаются две копии журнала, располагаемые на разных физических дисках), в которую поступают записи обо всех изменениях основной части БД. Самая простая процедура обеспечения надежности восстановления БД – откат транзакции, выполненной пользователем, для чего все записи от одной транзакции связывают обратным списком от конца к началу (аналог Undo).

При «мягком» сбое во внешней памяти основной части БД могут находиться объекты, модифицированные транзакциями, не закончившимися к моменту сбоя, и могут отсутствовать объекты, модифицированные транзакциями, которые к моменту сбоя успешно завершились (по причине использования буферов оперативной памяти, содержимое которых при «мягком» сбое пропадает). В таком случае во внешней памяти журнала должны обязательно находиться записи, относящиеся к операциям модификации обоих видов объектов. Для восстановления БД после жесткого сбоя используют журнал и архивную копию БД.

***Поддержка языков управления БД.***Для работы с базами данных используются специальные языки, называемые языками баз данных. В современных СУБД обычно поддерживается единый интегрированный язык, содержащий все необходимые средства для работы с БД, начиная от ее создания, и обеспечивающий базовый пользовательский интерфейс с базами данных. Стандартным языком наиболее распространенных в настоящее время реляционных СУБД является языкSQL (Structured Query Language). Язык SQL позволяет определять схему реляционной БД и манипулировать данными.

Язык SQL содержит специальные средства определения ограничений целостности БД, которые тоже хранятся в специальных таблицах-каталогах.Обеспечение контроля целостности БД производится на языковом уровне. Компилятор SQL для операторов модификации БД на основании имеющихся в БД ограничений целостности генерирует соответствующий программный код.

Специальные операторы языка SQL позволяют определять так называемые представления БД, фактически являющиеся хранимыми в БД запросами (результатом любого запроса к реляционной БД является

86

таблица) с именованными столбцами. Для пользователя представление является такой же таблицей, как любая базовая таблица, хранимая в БД, но с помощью представлений можно ограничить или наоборот расширить «видимость» БД для конкретного пользователя. Поддержание представлений производится также на языковом уровне.

Наконец, авторизация доступа к объектам БД производится также на основе специального набора операторов SQL. Идея состоит в том, что для выполнения операторов SQL разного вида пользователь должен обладать различными правами доступа к БД. Пользователь, создавший таблицу БД, обладает полным набором прав для работы с этой таблицей, в том числе правом разрешения доступа другим пользователям. Контроль прав доступа поддерживается на уровне языка.

***Типовая организация СУБД.***Организация типичной СУБД и состав ее компонентов соответствуют рассмотренному набору функций. СУБД представляет собой три взаимосвязанные компоненты: командный язык для выполнения требуемых операций с данными (ввод, вывод, модификация), интерпретирующую систему (или компилятор) для обработки команд и перевода их на язык машины, интерфейс пользователя для формирования запросов к БД (выборки нужных данных).

Логически в реляционной СУБД можно выделить:

–внутреннюю часть – ядро СУБД (часто его называют **Data Base**

Engine);

–компилятор языка БД (обычно SQL);

–подсистему поддержки времени выполнения;

–набор утилит.

Внекоторых системах эти части выделяются явно, в других – нет, но логически такое разделение можно провести во всех СУБД.

Ядро СУБД отвечает за управление: данными во внешней памяти, буферами оперативной памяти, транзакциями, а также за ведение журнала. Компоненты ядра – это соответственно менеджер данных, менеджер буферов, менеджер транзакций и менеджер журнала. Для обеспечения корректной работы СУБД все эти компоненты должны взаимодействовать по тщательно организованным протоколам. Ядро СУБД является основной резидентной частью СУБД, а в архитектуре «клиент-сервер»– основной составляющей серверной части системы.

Основной функцией компилятора языка БД является перевод операторов языка БД в некоторую выполняемую программу. Результатом компиляции является выполняемая программа, представляемая в некоторых системах в машинных кодах, но более часто во внутреннем машиннонезависимом коде.

В отдельные утилиты БД обычно выделяют такие процедуры, которые слишком накладно выполнять с использованием языка БД, например загрузка и выгрузка БД, сбор статистики, глобальная проверка целостности БД и т.д. Утилиты программируются с использованием интерфейса ядра СУБД.

87

К числу достоинств реляционного подхода можно отнести:

•наличие небольшого набора приемов для простого абстрактного представления объектов большинства распространенных областей применения БД с интуитивно понятными и достаточно точными формальными определениями;

•наличие простого математического аппарата, опирающегося на теорию множеств и математическую логику, обеспечивающего основу реляционного подхода к организации баз данных;

•возможность манипулирования данными без необходимости знания конкретной физической организации баз данных во внешней памяти.

Отмеченные преимущества и постепенное накопление методов и алгоритмов организации реляционных баз данных и управления ими привели к тому, что в середине 80-хгодов XX в. реляционные системы практически вытеснили с мирового рынка ранние СУБД.

К недостаткам реляционных СУБД относятся некоторая ограниченность (как следствие простоты) их использования при сложных структурах данных, в том числе пространственно-определенныхданных разных моделей, а также невозможность адекватного отражения семантики предметной области.

***Базовые понятия реляционных баз данных.***В преобладающем большинстве ГИС используются реляционные базы данных, поддерживаемые такими СУБД, как dBase, INFO, ORACLE, INFORMIX и т. п.

Такие БД позволяют разработчикам ГИС разделить проблему управления пространственными данными на две части: как представлять геометрию объектов и топологию пространственных объектов (вектор или растр) и как работать с атрибутами этих объектов. Для этого пригодны реляционные СУБД, управляемые ими модели данных иногда называют геореляционными моделями. Основные их преимущества таковы:

•нет необходимости хранить атрибуты с пространственными данными, но они всегда могут содержаться где-нибудь в системе или поставляться, например, по сети;

•атрибуты могут быть изменены или удалены без изменения пространственной БД;

•коммерческие реляционные СУБД стандартны и могут управляться стандартными запросами;

•хранение атрибутивных данных в реляционных БД не противоречит основным принципам слоев в ГИС;

•атрибуты могут быть привязаны к пространственным единицам и представлены разными способами.

Основными понятиями реляционных баз данных являются: тип данных, домен, атрибут, кортеж, первичный ключ и отношение.

Понятие тип данных полностью адекватно понятию типа данных в языках программирования. Обычно в реляционных БД допускается хранение символьных, числовых данных, битовых строк, специализированных числовых данных (таких, как «деньги»), а также специальных данных – дата, время, временной интервал. Развивается подход к расширению возможностей реляционных систем абстрактными типами данных.

Понятие домен имеет некоторые аналогии с подтипами в некоторых языках программирования. В самом общем виде домен определяется заданием некоторого базового типа данных, к которому относятся элементы домена, и произвольного логического выражения, применяемого к элементу типа данных. Если вычисление этого логического выражения дает результат «истина», то элемент данных является элементом домена. Наиболее правильное интуитивное понимание домена – допустимое множество значений определенного типа. Данные считаются сравнимыми только в том случае, когда они относятся к одному домену.

Отношение – это именованное множество пар {имя атрибута, имя домена (или типа)}. Если все атрибуты одного отношения определены на разных доменах, целесообразно использовать для наименования атрибутов имена соответствующих доменов.

Кортеж, соответствующий данной схеме отношения, – это набор именованных значений заданного типа.

Обычным представлением отношения является таблица, в заголовке которой указывают наименование отношения, а в строках – кортежи; в этом случае имена атрибутов именуют столбцы таблицы. Поэтому когда говорят «столбец таблицы», имеют в виду «атрибут отношения». Такой терминологии придерживаются в большинстве коммерческих реляционных СУБД.

***Реляционная модель данных.***Модель данных с точки зрения СУБД описывает некоторый набор родовых понятий и признаков, которыми должны обладать сама СУБД и управляемые ею базы данных, если они основываются на этой модели. Наличие модели данных позволяет сравнивать конкретные реализации, используя один общий язык.

Реляционная модель состоит из трех частей, описывающих разные аспекты реляционного подхода: структурной, манипуляционной и целостной.

В структурной части модели фиксируется, что единственной структурой данных, используемой в реляционных БД, является нормализованное отношение – некоторый определенный набор ограничений, свойственный этому отношению. Нормализация связана с поиском наиболее простой структуры для данного множества данных и имеет дело с зависимостью между атрибутами; она позволяет избежать потери общей информации при удалении или вводе записей. Существует несколько формальных типов нормализации (более пяти).

Манипуляционная часть модели определяет механизм манипулирования реляционными БД – реляционная алгебра и реляционное исчисление, базирующиеся на теории множеств и логическом аппарате исчисления отношений.

В целостной части реляционной модели данных фиксируются два базовых требования целостности: целостности сущностей и целостности по ссылкам. Объекту, или сущности, реального мира в реляционных БД соответствуют записи (кортежи) отношений, и требование целостности состоит в сохранении отличий разных записей этого отношения; говорят, что любое отношение должно обладать первичным ключом.

Второе требование более сложно. Сущности реального мира представляются в реляционной БД в виде записей нескольких отношений. Для связи отношений используется атрибут, который служит внешним ключом. Отношение, в котором определен внешний ключ, ссылается на соответствующее отношение, в котором такой же атрибут является первичным ключом. Требование целостности по ссылкам состоит в том, что для каждого значения внешнего ключа должна найтись запись с таким же значением первичного ключа в отношении, на которое указывает ссылка, либо значение внешнего ключа должно быть неопределенным (т. е. ни на что не указывать).

Выполнение таких требований чрезвычайно важно при модификации отношений или удалении записей. Поддержке целостности при удалении кортежа служат: запрет на удаление кортежа, на который существуют ссылки; автоматическая замена значения внешнего ключа на неопределенное во всех ссылающихся кортежах; автоматическое удаление всех ссылающихся кортежей.

Реляционные СУБД обладают рядом особенностей, влияющих на организацию внешней памяти. К наиболее важным особенностям можно отнести следующие:

•наличие двух уровней системы: уровня непосредственного управления данными во внешней памяти и языкового уровня (например, уровня, реализующего язык SQL); тогда подсистема нижнего уровня должна поддерживать во внешней памяти набор базовых структур, конкретная интерпретация которых входит в число функций подсистемы верхнего уровня;

•информация, связанная с наименованием объектов базы данных и их конкретными свойствами (например, структураключа-индекса),поддерживается подсистемой языкового уровня;

•регулярность структур данных во внешней памяти, поскольку основным объектом реляционной модели данных является плоская таблица;

•для выполнения операторов языкового уровня над одним или несколькими отношениями во внешней памяти поддерживаются дополнительные «управляющие» структуры – индексы;

•для выполнения требования надежного хранения баз данных поддерживается избыточность хранения данных во внешней памяти.

Следует подчеркнуть, что как бы ни были организованы индексы в конкретной СУБД, их основное назначение состоит в обеспечении эффективного прямого доступа к кортежу отношения по ключу. Обычно индекс определяется для одного отношения, и ключом является значение атрибута (возможно, составного). Организация индексов в больших БД

90

представляет сложную проблему. Все более популярным подходом к организации индексов является использование техники хэширования. Общей идеей методов хэширования является применение к значению ключа некоторой функции свертки (хэш-функции),вырабатывающей значение меньшего размера. Свертка значения ключа затем применяется для доступа к записи. В самом простом случае свертка ключа используется как адрес в таблице, содержащей ключи и записи.

//немного теории про Oracle

//немного теории про .net

Глава 4.

Глава 5.

**Описание практической части.**

В данной главе будет описано приложение, создание которого и являлось целью данной работы.

Сначала планируется написать некоторую общую информацию

1. [↑](#footnote-ref-2)
2. [↑](#footnote-ref-3)
3. <http://code.google.com/p/repastcity> [↑](#footnote-ref-4)