

Кудинов Антон Викторович

**Алгоритмическое и программное обеспечение
геоинформационной системы для решения задач
управления сетями инженерных коммуникаций**

05.13.11 — Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных
сетей

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор **Н.Г. Марков**

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор **В.П. Бондаренко**

кандидат технических наук, доцент **Ю.Л. Костюк**

Ведущая организация:

Научно-исследовательский институт автоматики и электромеханики при
Томском государственном университете систем управления и радиоэлектрони-
ки, г. Томск

Защита состоится «___» _____ 2002 г. в ___ ч. в ауд. 214 на заседании
диссертационного совета Д 212.269.06 при Томском политехническом универ-
ситете по адресу: 634034, г. Томск, ул. Советская, 84, институт «Кибернетиче-
ский центр» ТПУ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехниче-
ского университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 53.

Автореферат разослан «___» _____ 2002 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета
к.т.н., доцент

М.А. Сонькин

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Одним из наиболее динамично развивающихся сегодня направлений в геоинформатике является автоматизация управления пространственными объектами, структура которых может быть описана как сеть. К таким объектам относятся сети автомобильных и иных дорог, кабельные сети, сети инженерных коммуникаций (тепло-, водо-, газо- и нефтепроводы) и т.д. Заказчиком прикладной геоинформационной системы (ГИС) для решения задач управления такими объектами, в таком случае является предприятие, эксплуатирующее соответствующий класс сетей.

Несмотря на достаточно большое количество примеров применения ГИС-технологий в управлении сетями инженерных коммуникаций, описанных в литературе, необходимо отметить, что роль ГИС в них сводится чаще всего лишь к визуализации схемы сети на карте или плане местности. При этом, как отмечают авторы работ по теоретической геоинформатике (А.В. Кошкарев, В.С. Тикун, Ю.К. Королев), не учитываются возможности ГИС как инструмента пространственного анализа для исследования связей инженерных сетей с окружающей средой и инфраструктурой.

К настоящему времени у подавляющего большинства предприятий-заказчиков и фирм-разработчиков автоматизированных систем управления инженерными сетями созрело понимание того, что создание таких систем без использования в значительной степени ГИС-технологий не имеет смысла, т.к. это существенно сужает круг принципиально решаемых ими задач. Однако нет единого мнения о месте геоинформационной составляющей в рамках информационной системы для решения задач управления инженерными сетями.

Одной из причин является то, что большинство расчетных задач, решаемых при автоматизации процессов управления инженерными сетями, требуют помимо информации о пространственном положении и параметрах технологических объектов данных о структуре (топологии) сети.

Однако модели данных современных ГИС слабо приспособлены для описания топологических отношений в том объеме, какой требуется для адекватного представления инженерных сетей.

Подходом к решению данной проблемы может быть разработка такой модели данных, которая являлась бы надстройкой над моделями данных существующих ГИС и была бы эффективной в описании неметрических отношений между пространственными объектами инженерных сетей.

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является создание алгоритмического и программного обеспечения ГИС для решения задач управления сетями инженерных коммуникаций.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи.

1. Проработка концептуальных основ организации инструментальной ГИС для управления ПРИС.

2. Создание и формализованное описание модели данных такой инструментальной ГИС, включая векторную топологическую модель данных, эффективной при анализе различных отношений между пространственными объектами.

ми ПРИС. Создание на основе предложенной модели структур данных инструментальной ГИС.

3. Разработка концепции организации и алгоритмического обеспечения инструментальной ГИС. Данная задача предполагает разработку алгоритмов создаваемой системы и исследование их эффективности.

4. Разработка программного обеспечения инструментальной ГИС. Результатом решения этой задачи должны явиться программные средства инструментальной ГИС, реализующие созданные алгоритмы и опирающиеся на разработанную модель данных.

5. Апробация предложенных инструментальных средств при создании проблемно-ориентированной ГИС для управления одним из классов инженерных сетей.

Методы исследований. В работе использованы методы теории множеств, теории алгоритмов, теории графов и комбинаторики и теории моделирования.

Научную новизну полученных в работе результатов определяют:

1. Предложенный подход к представлению в моделях данных ГИС комплекса отношений между пространственными объектами: топологических, иерархических, ресурсных и логических, а также композиций таких отношений.

2. Теоретико-множественное описание векторной топологической модели данных, позволяющей эффективно оперировать различного рода отношениями между объектами ПРИС.

3. Предложенные формальные признаки корректности бинарных топологических отношений вложенности и соседства.

4. Разработанные алгоритмы проверки корректности топологических отношений между пространственными объектами, учитывающие погрешность масштаба редактируемой карты.

5. Разработанный алгоритм вычисления товаротранспортной работы сети в условиях дефицита продукта транспортировки.

6. Разработанный алгоритм локализации аварийного участка сети с составлением оптимального маршрута выезда аварийной бригады.

7. Результаты исследования эффективности генетического алгоритма решения задачи коммивояжера.

Практическая ценность и реализация результатов работы. Практически значимыми являются созданные модели, методы, алгоритмы и программные средства инструментальной ГИС для решения задач управления инженерными сетями. Программные средства ГИС функционируют на компьютерах типа IBM PC под управлением операционной системы Windows NT. Объем исходного кода системы составляет более 7000 строк кода на языках Object Pascal и MapBasic.

Созданная инструментальная ГИС была использована для разработки проблемно-ориентированной ГИС «Магистраль» для управления магистральными газопроводами. Полученные в ходе выполнения исследований результаты и программные средства ГИС внедрены в ООО «Томсктрансгаз», дочернем предприятии ОАО «ГАЗПРОМ». Внедрение подтверждено соответствующим актом.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Созданная векторная топологическая модель данных позволяет по сравнению с другими моделями данных ГИС более эффективно описывать различного рода отношения между пространственными объектами инженерных сетей, а ее теоретико-множественное описание делает его независимым от методологии проектирования структур данных информационных систем.

2. Разработанные алгоритмы проверки отношений позволяют поддерживать корректность данных об отношениях в рамках предложенной модели пространственных данных.

3. Созданные алгоритмические и программные средства инструментальной ГИС для решения задач управления конкретными ПРИС позволяют легко реализовывать проблемно-ориентированные ГИС.

4. Проблемно-ориентированная ГИС «Магистраль» позволяет эффективно решать прикладные задачи оперативного диспетчерского управления инженерными сетями, в том числе связанные с представлением сетей на топографических картах и технологических схемах с использованием расширенного набора функций для пространственного анализа.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Вторая региональная научно-техническая конференция студентов и молодых специалистов «Радиотехнические системы и устройства» (Томск, 1997 г.), XXXVI Международная научная конференция студентов и аспирантов «Студент и научно-технический прогресс» (г. Новосибирск, 1998 г.), II Российско-Корейский международный симпозиум по науке и технологии «Korus'98» (г. Томск, 1998 г.), III Российско-Корейский международный симпозиум по науке и технологии «Korus'99» (г. Новосибирск, 1999 г.), Международная научно-практическая конференция «Геоинформатика-2000» (г. Томск, 2000 г.), 4-я Всероссийская научно-практическая конференция «Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях» (г. Тюмень, 2001 г.).

Созданное программное обеспечение — геоинформационная система для управления магистральными газопроводами «Магистраль» — выставлялось на 1-й Межрегиональной специализированной выставке-ярмарке «Газификация-2001» и отмечены дипломами выставки.

По результатам работы имеется 8 публикаций, в том числе 4 статьи.

Личный вклад:

1. Постановка задач исследования выполнена автором совместно с Н.Г. Марковым.

2. Векторная топологическая модель данных ГИС для управления пространственными инженерными сетями и ее математическое описание разработано лично автором.

3. Алгоритмическое обеспечение ГИС для управления пространственными инженерными сетями разработано лично автором. Постановки задач исследования эффективности предложенных алгоритмов и исследования выполнены автором.

4. Разработка структуры инструментальной ГИС для управления магистральными газопроводами выполнена автором совместно с Н.Г. Марковым.

5. Проектирование и разработка программного обеспечения проблемно-ориентированной ГИС «Магистраль» для управления магистральными газопроводами выполнены автором совместно с В.С. Шерстневым и П.М. Острась, при этом подсистемы настройки отношений, подсистемы решения инженерных задач, модулей экспорта данных и построения отчетов, разработанных лично автором.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 96 наименований и приложений. Объем основного текста диссертации составляет 127 страниц машинописного текста, иллюстрированного 31 рисунком и 4 таблицами.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы в данном научном направлении, формулируются цель и задачи исследования, показывается научная новизна и практическая значимость полученных результатов и приводится краткое содержание работы по главам.

В первой главе приводится определение пространственных инженерных сетей (ПРИС), предлагается классификация задач, возникающих при управлении ПРИС.

Формулируются основные проблемы автоматизации задач управления ПРИС. Делается вывод о необходимости использования геоинформационных технологий при решении этих задач.

Приводится анализ существующего программного обеспечения для решения задач управления ПРИС и на его основании делается вывод, что ни одна из рассмотренных систем функционально не охватывает весь комплекс задач из предложенной классификации.

Рассматриваются два основных существующих подхода к решению проблемы использования функций ГИС при решении задач управления ПРИС. Первый подход предполагает самостоятельную разработку ГИС-функций при создании автоматизированной системы управления ПРИС. Отмечаются недостатки этого подхода: высокая стоимость и затратность по времени, а также, сложности в дальнейшем развитии таких систем с учетом новых тенденций в геоинформатике. Вторым подходом предполагается создание автоматизированной системы управления ПРИС на базе инструментальной (универсальной) ГИС. При этом отпадает необходимость самостоятельной реализации ГИС-функций, но возникает другая проблема: проведенный анализ показал, что модели данных современных инструментальных ГИС слабо приспособлены для описания структуры (топологии) инженерных сетей.

Приводится исследование проблемы моделирования отношений между объектами ПРИС и подходов к ее решению на основе различных топологических моделей данных ГИС. Делается вывод о том, что существующие модели данных ГИС недостаточно эффективны в описании отношений между объектами ПРИС.

В таком случае, предлагается альтернативный подход, который предполагает использование в качестве ядра автоматизированной системы управления

ПРИС не универсальной ГИС, а библиотеки ГИС-функций, реализованные в виде ActiveX-компонент, например, MapInfo MapX (MapInfo Corp., США) и MapObjects (ESRI, США).

На основе результатов проведенного анализа проблем автоматизации задач управления ПРИС, а также современного состояния в области применения ГИС в этой сфере, формулируются цель и задачи диссертационной работы.

В рамках создания концепции организации инструментальной ГИС для управления ПРИС формулируются основные принципы ее построения.

Во второй главе описывается разработка модели данных ГИС для управления ПРИС.

Рассматриваются существующие подходы к формализации моделей, использующих описание топологических отношений между пространственными объектами, и отмечаются их недостатки.

Исследуются различные подходы к хранению атрибутивных и пространственных данных в ГИС и обосновывается использование интегрированного хранения данных обоих типов.

Формулируются следующие общие принципы построения интегрированной модели данных ГИС для управления ПРИС, включающей векторную топологическую модель данных для представления пространственных данных:

- модель должна давать возможность описания сразу нескольких ПРИС с разными транспортируемыми ресурсами;
- в модель должна быть заложена возможность одновременного представления объектов ПРИС на нескольких цифровых топографических картах и схемах;
- при формализованном описании предлагаемой векторной топологической модели данных предлагается использовать математический аппарат теории множеств. Одни составляющие модели необходимо представлять как базовые множества, а другие — вводить через базовые операции над множествами, такие как объединение, пересечение, прямое произведение и т.д.

Рассматривается классификация отношений между объектами ПРИС, рассматриваемых при решении задач управления ПРИС. Выделяются основные типы отношений: топологические, иерархические, ресурсные и логические.

В рамках модели вводятся понятия множеств классов объектов C и его подмножеств: названий атрибутов N , типов атрибутов T и экземпляров E , множества ресурсов R , распределяемых при помощи ПРИС, множества типов ресурсных классов H и отношений классов к ресурсам Ω , множества карт K и слов карт. Среди множества атрибутов объекта выделяется подмножество описаний графического представления объекта на карте G , включающее подмножества описания геометрии M и описания стиля отображения S .

Предлагается подход к комплексному теоретико-множественному описанию отношений различных типов между классами объектов (концептуальных) и экземплярами классов, а также композиций отношений. Для каждого конкретного вида отношений ρ можно выделить множество $Q(\rho)$ его признаков,

которые формализуют способ, которым устанавливается отношение, и по которым оценивается корректность установленного отношения.

Признаки отношения определяются как пара множеств: $Q(c_i, c_k)$ — множество признаков, которыми должны обладать i -й и k -й классы связываемых данным отношением объектов, и множество $Q(e_i^j, e_k^l)$ признаков, которыми должны обладать экземпляры связываемых объектов. Причем первая группа признаков представляется множеством необходимых *типов атрибутов*, которыми должны обладать классы для установления отношения, вторая же группа представляется множеством *логических условий*, которые накладываются на *текущие значения* атрибутов из первой группы для конкретных связываемых экземпляров объектов так, чтобы отношение считалось корректно установленным.

Приводится анализ свойств бинарных отношений вышеуказанных типов. Определяются формальные критерии корректности топологических отношений соседства и вложенности.

Рассматривается возможность применения предложенной модели данных в проектировании структур данных информационной системы, предназначенной для решения задач управления ПРИС. Предлагается использовать при проектировании современные CASE-технологии.

Рассматриваются этапы перехода от теоретико-множественного описания предложенной модели к ее описанию в рамках модели «сущность-связь», а также возможность получения даталогической модели с использованием CASE-средств.

Приводятся исследования и анализ эффективности в описании отношений предложенной модели данных ГИС для управления ПРИС по сравнению с другими векторными как нетопологическими, так и топологическими моделями данных современных ГИС. По результатам анализа можно сделать вывод, что предложенная модель по полноте описания отношений и ресурсов, возможности представления объектов на множестве карт и схем не имеет аналогов среди моделей данных современных ГИС.

Третья глава посвящена разработке алгоритмического обеспечения ГИС для управления ПРИС.

Рассматриваются два типа алгоритмов: поддерживающие корректность данных предложенной векторной топологической модели данных и алгоритмы, решающие ряд прикладных задач управления ПРИС.

Среди алгоритмов первого типа рассматриваются разработанный алгоритм анализа отношений между пространственными объектами векторной карты, позволяющий расширить традиционные функции пространственного анализа в ГИС, и алгоритмы корректности топологических отношений вложенности и соседства для пары пространственных объектов различных типов, учитывающие текущий масштаб редактируемой карты.

Использование этих алгоритмов необходимо при создании, удалении или модификации объекта, когда при изменившихся значениях атрибутов объекта условия и ограничения, определяющие его отношения с другими объектами, частично или полностью не выполняются. Это означает, что корректность от-

ношения нарушена и оно должно быть разорвано. С другой стороны, при изменившихся значениях атрибутов, редактируемый объект может вступить в новые отношения с некоторым множеством объектов.

Следовательно, после каждой модификации каждого объекта необходимо выполнение процедур проверки корректности существующих отношений редактируемого объекта и поиска возможных новых отношений с другими объектами. Аналогичные процедуры должны выполняться при создании объекта. При удалении объекта необходимо произвести разрыв всех отношений, в которые вступал удаленный объект.

Точность представления координат пространственных объектов в современных ГИС достаточно высока. Пользователь же при редактировании графического представления объектов на векторной карте визуально контролирует, например, совпадение координат узлов графических объектов, только с точностью, определяемой текущим масштабом отображения карты. Следовательно, при проверке отношений возникает вероятность ошибки несовпадения координат, если проводить ее с максимальной точностью, вне связи с текущим масштабом карты. Поэтому одной из особенностей данного алгоритма является автоматическое вычисление требуемых значений Δx и Δy , определяющих область, в пределах которой узлы графических объектов считаются совпадающими. Вычисление ведется относительно текущего масштаба карты на заданную в пикселях величину.

В работе приводятся описание разработанных алгоритмов проверки корректности топологических отношений вложенности и соседства, согласно формальных критериев, определенных в главе 1.

Основная идея алгоритма проверки отношения вложенности заключается в том, что отношение считается корректным, если выполняются двум критерия:

- а) множество точек объекта, являющегося пересечением проверяемых на вложенность объектов, не является пустым;
- б) площадь результата пересечения больше площади вложенного объекта не более чем на заданную величину погрешности *delta*.

На **шаге 1** алгоритма необходимо получить графический объект, являющийся пересечением графических представлений проверяемых объектов на редактируемой карте.

На **втором шаге** вычисляется площадь полученного в результате выполнения пересечения графического объекта. Функции нахождения пересечения пространственных объектов и вычисления площадей являются одними из самых распространенных функций современных ГИС.

На **третьем шаге** выполняется предварительная проверка: если площадь пересечения меньше нуля, следовательно, объекты не пересекаются и не могут находиться в отношении вложенности.

Если пересечение имеет место, то проверить является ли один объект полностью вложенным в другой можно сравнивая площади результата пересечения и вложенного объекта. Для этого на **четвертом шаге** вычисляем площадь вложенного объекта и на **пятом шаге** проводим соответствующую проверку: не превышает ли разница в площадях заданную величину погрешности.

Если это условие выполняется, то отношение вложенности корректно. Завершение работы алгоритма.

Этот алгоритм можно модифицировать и применить для других типов графических объектов. Так для полилинейных объектов вычислять и сравнивать следует не площади, а длины результата пересечения и вложенного объекта. Для определения вложенности точечного объекта в полигональный или полилинейный объект необходима простая проверка неравенства нулю результата их пересечения.

Критерием корректности топологического отношения соседства будем считать существование хотя бы одной общей узловой точки в описаниях геометрии связываемых отношением объектов.

Следовательно, проверка отношения соседства должна выполняться путем перебора всех узловых точек в описании геометрии одного и другого проверяемых на соседство объектов. Если находятся такие две узловые точки, принадлежащие разным объектам, что их координаты отличаются не более чем на заданную величину *delta*, отношение соседства считается корректным для проверяемой пары объектов.

Ряд прикладных задач управления ПРИС необходимо решать на базе представления сети в виде взвешенного графа.

Определение 1. *Ресурсным* будем называть граф, множество вершин которого U может быть представлено в виде объединения двух непересекающихся множеств

$$U = U_p \cup U_c, U_p \cap U_c = \emptyset,$$

где U_p — множество источников ресурса в сети; U_c — множество потребителей ресурса в сети.

Рассматривается разработанный алгоритм получения ресурсных графов ПРИС по данным предложенной векторной топологической модели. С его помощью базе одной и той же ПРИС можно строить графы ресурсных потоков для разных ресурсов.

При решении некоторых задач диспетчерского управления трубопроводами возникает потребность в определении тех участков сети, которые при заданном положении запорной арматуры окажутся отключенными от источников продукта транспортировки. При этом в ряде случаев требуется определить либо суммарный объем фрагмента сети, отключенной от источников, либо количество отключенных потребителей.

Подобная задача возникает не только для трубопроводных ПРИС. Для сетей общего назначения (авто-, железнодорожных, водных и пр.) возникает задача нахождения *зон недоступности* при снижении до нуля пропускной способности отдельных участков (например, сегментов дороги, попадающих в зону сезонного разлива рек или находящихся в ремонте).

Рассматривается разработанный алгоритм анализа переключений запорной арматуры и поиска зон недоступности, расширяющий традиционную методику поиска связных компонент, проводя его только относительно узлов-источников, и выполняющий анализ пропускных способностей не только вер-

шин, но и ребер ресурсного графа. Благодаря этому предложенный алгоритм может применяться для анализа ПРИС различных типов, а также учитывать аварийные и ремонтные ситуации на участках сети.

Определение 2. Товаротранспортная работа (грузооборот) инженерных сетей представляет собой произведение количества транспортируемого ресурса на расстояние транспортировки и определяется по формуле

$$P = \sum_{i=1}^N q_i \cdot l_i,$$

где q_i — количество ресурса, транспортируемого до отдельных потребителей; l_i — расстояние транспортировки до потребителей; N — число потребителей; P — грузооборот.

Показатель объема товаротранспортной работы (ТТР) используется как на стадии проектирования при определении удельных экономических показателей транспорта ресурса, так и при анализе фактических значений этих показателей, при решении задач планирования и распределения ресурсов.

Задача не представляет серьезной алгоритмической сложности, если четко определены соответствия, от какого источника насыщается каждый потребитель. Например, если потребитель получает ресурс от ближайшего источника (имеется в виду расстояние по трубе), то это означает, что источник в состоянии удовлетворить его потребности в ресурсе полностью. В такой постановке данная задача решается рядом систем анализа инженерных сетей.

Однако на практике чаще встречается ситуация, когда в процессе распределения объем требуемого текущему потребителю ресурса превышает допустимый объем поставки от ближайшего источника. В этом случае потребитель должен быть насыщен от ближайшего источника на допустимый объем, а остаток получить от следующего ближайшего источника и т.д. ТТР сети для этого потребителя будет складываться из произведений фактически потребленного объема на расстояние до каждого источника. Поскольку в литературе не описаны алгоритмы решения задачи в данной постановке предлагается оригинальный алгоритм, разработанный автором.

Одной из наиболее интересных и алгоритмически сложных задач, в решении которой заинтересованы диспетчерские службы предприятий, эксплуатирующих инженерные сети, является выдача рекомендаций по локализации аварийных участков. Простейшая формулировка этой задачи следующая: для заданного аварийного участка найти подмножество запорной арматуры, которую необходимо перекрыть для того, чтобы продукт транспортировки не поступал в аварийный участок сети.

Вариантом визуализации результатов работы алгоритма может быть тематическая раскраска схемы инженерной сети с выделением запорной арматуры, которую необходимо перекрыть, отключенных участков сети и потребителей и т.п. Диспетчер на основе анализа предложенного варианта локализации принимает решение по переключению запорной арматуры дистанционно, если предусмотрено телемеханическое управление ею, или вручную. Поскольку последний вариант является наиболее распространенным случаем (по крайней мере, в отечественных сетях), то актуальной является задача нахождения оптимального

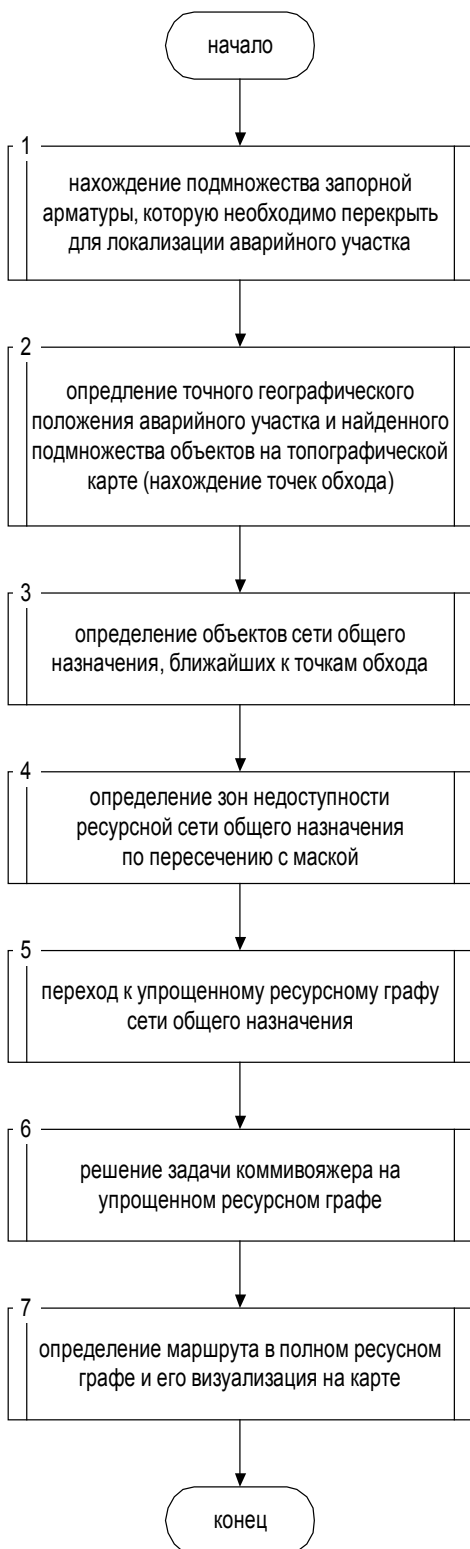


Рис 1. Укрупненная схема алгоритма локализации аварийного участка с определением оптимального маршрута выезда аварийной бригады

маршрута выезда аварийной бригады, которая должна, во-первых, переключить соответствующую запорную арматуру и, во-вторых, произвести экстренный ремонт поврежденного участка. Важнейшим инструментом при решении такой задачи является топографическая карта, с нанесенными на нее объектами ПРИС.

Поскольку аварийная бригада при передвижении на местности использует всевозможные дороги и мосты, водные пути и т.п., можно представить множество этих пространственных объектов как ПРИС общего назначения. Описав ее в рамках предложенной векторной топологической модели можно воспользоваться рядом предлагаемых алгоритмов для решения задач управления ПРИС. Таким образом, достигается единообразие использования модели и алгоритмов для различных видов ПРИС.

Поиск оптимального маршрута в этом случае должен выполняться на ресурсном графе сети общего назначения. Для этого необходимо определить географическое положение соответствующей запорной арматуры и аварийного участка на карте, которые будут являться точками обхода в маршруте. Затем надо найти подмножество объектов ПРИС общего назначения, ближайших к точкам обхода, и соответствующие им узлы и ребра ресурсного графа.

Таким образом, задача сводится к нахождению в ресурсном графе такого цикла, который включал бы вершины, ближайšie к заданной начальной точке маршрута и всем точкам обхода, причем каждая вершина встречалась бы в цикле не более одного раза, а длина маршрута была минимальна. Такой цикл, проходящий через все вершины графа, называется *гамильтоновым*, а задача его нахождения известна под названием *задачи коммивояжера*.

Для ПРИС общего назначения, как и для других инженерных сетей, необходимо учитывать возможные ситуации ограничения проходимости отдельных участков сети. Такие ситуации возникают как при ремонтных работах, так и в результате природных явлений — попадания участков сети в зоны сезонного разлива рек или

в зоны задымления в результате лесных пожаров.

Одним из способов задания информации о зонах ограниченной проходимости может быть их картирование. Карты разливов рек, лесных пожаров и т.п. могут быть получены, например, в результате обработки данных аэрофотосъемки или космосъемки. В этом случае возможно использование этих карт в качестве набора векторных масок, накладываемых на карту сети общего назначения. Зоны непроходимости должны учитываться при составлении маршрута выезда аварийной бригады.

Рассматривается разработанный алгоритм комплексного решения задачи локализации аварийного участка с определением оптимального маршрута выезда аварийной бригады по инженерной сети общего назначения, учитывающий зоны ограниченной проходимости на маршруте, укрупненная схема которого приведена на рис. 1. Необходимо отметить, что ни одна из современных ГИС не предлагает комплексного решения этой задачи.

На этапе 3 этого алгоритма должна быть решена задача поиска объектов ПРИС общего назначения (например, сегментов дорожной сети) ближайших к точкам обхода. В работе приводится анализ методов решения задачи поиска ближайшего соседа и обосновывается применение для данного случая метода полного перебора.

Анализируются наиболее известные методы решения задачи коммивояжера, как этапа 6, обосновывается возможность применения известного генетического алгоритма.

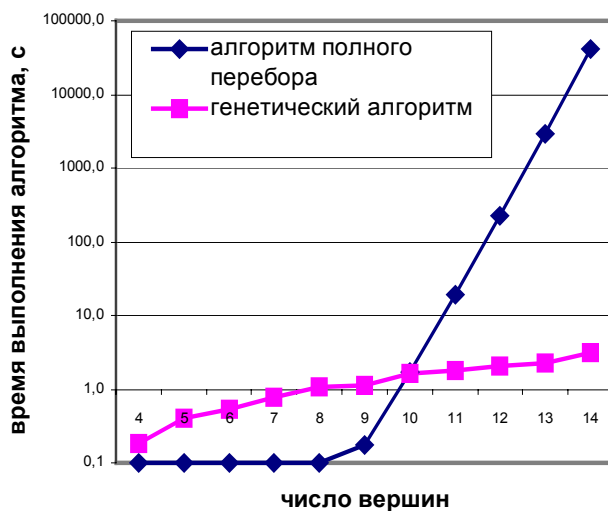


Рис. 2. Зависимость времени решения задачи коммивояжера от числа вершин графа

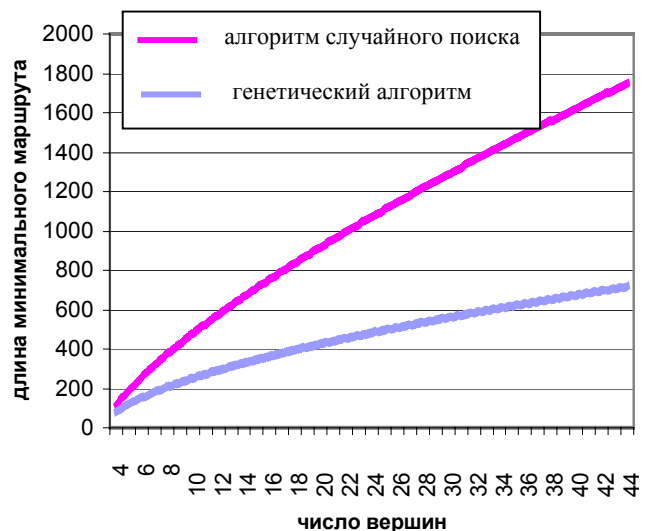


Рис. 3. Зависимость длины минимального маршрута коммивояжера, найденного генетическим алгоритмом и алгоритмом случайного поиска, от числа вершин графа

Приведено исследование эффективности генетического алгоритма по сравнению с алгоритмами полного перебора и случайного поиска. На рис. 2 приведена зависимость времени решения задачи коммивояжера, как методом

полного перебора, так и генетическим алгоритмом, от числа вершин графа, представленная на логарифмической шкале. Как видно из рисунка, время выполнения алгоритма полного перебора растет экспоненциально, а генетического — линейно от числа вершин графа.

Поскольку генетический алгоритм не дает точного решения, было проведено исследование, целью которого было выяснить: какую максимальную погрешность он дает по сравнению с результатом полного перебора. Было получено значение погрешности 40% в наихудшем случае, что лучше, чем приведенные в литературе данные о погрешностях других приближенных алгоритмов, например, алгоритм дерева (100%) и алгоритм Кристофидеса (50%).

На рис. 3. Приведена зависимость длины минимального маршрута коммивояжера, найденного генетическим алгоритмом и алгоритмом случайного поиска, от числа вершин графа.

Таким образом, из анализа приведенных диаграмм можно сделать вывод, что генетический алгоритм эффективнее алгоритма полного перебора при числе вершин графа больше, чем 11 и эффективнее алгоритма случайного поиска независимо от числа вершин графа.

На основании сделанных выводов был предложен адаптивный алгоритм решения задачи коммивояжера, использующий наиболее эффективный метод в зависимости от числа вершин графа.

В главе четыре рассматривается применение вышеизложенных подходов и алгоритмов на практике, на примере создания ПО инструментальной ГИС для управления ПРИС.

На основе рассмотренных в главе 1 классификации задач, которые необходимо решать при автоматизации управления ПРИС, а также принципов построения инструментальной ГИС для управления ПРИС, сформулированы требования к системе.

Предлагается обобщенная структура ПО инструментальной ГИС для управления ПРИС, отражающая распределение функций системы между подсистемами и модулями, а также их взаимосвязи, представленная на рис.4.

Рассматриваются особенности организации доступа к пространственным данным в системе. Приводится обоснование выбора СУБД и средств разработки ПО.

Приводится описание следующего созданного программного обеспечения системы.

Подсистема настройки отношений — мощный инструмент для настройки концептуальных отношений. Реализованы функции редактирования справочников ресурсов, типов ресурсных классов, отношений классов к ресурсам и др., а также функции проверки корректности отношений. Несомненным преимуществом подхода, реализованного в подсистеме настройки отношений, является то, что его пользователь работает в терминах предметной области и не должен обладать знаниями и навыками, специфичными для разработчика программного обеспечения или специалиста в геоинформационных технологиях.

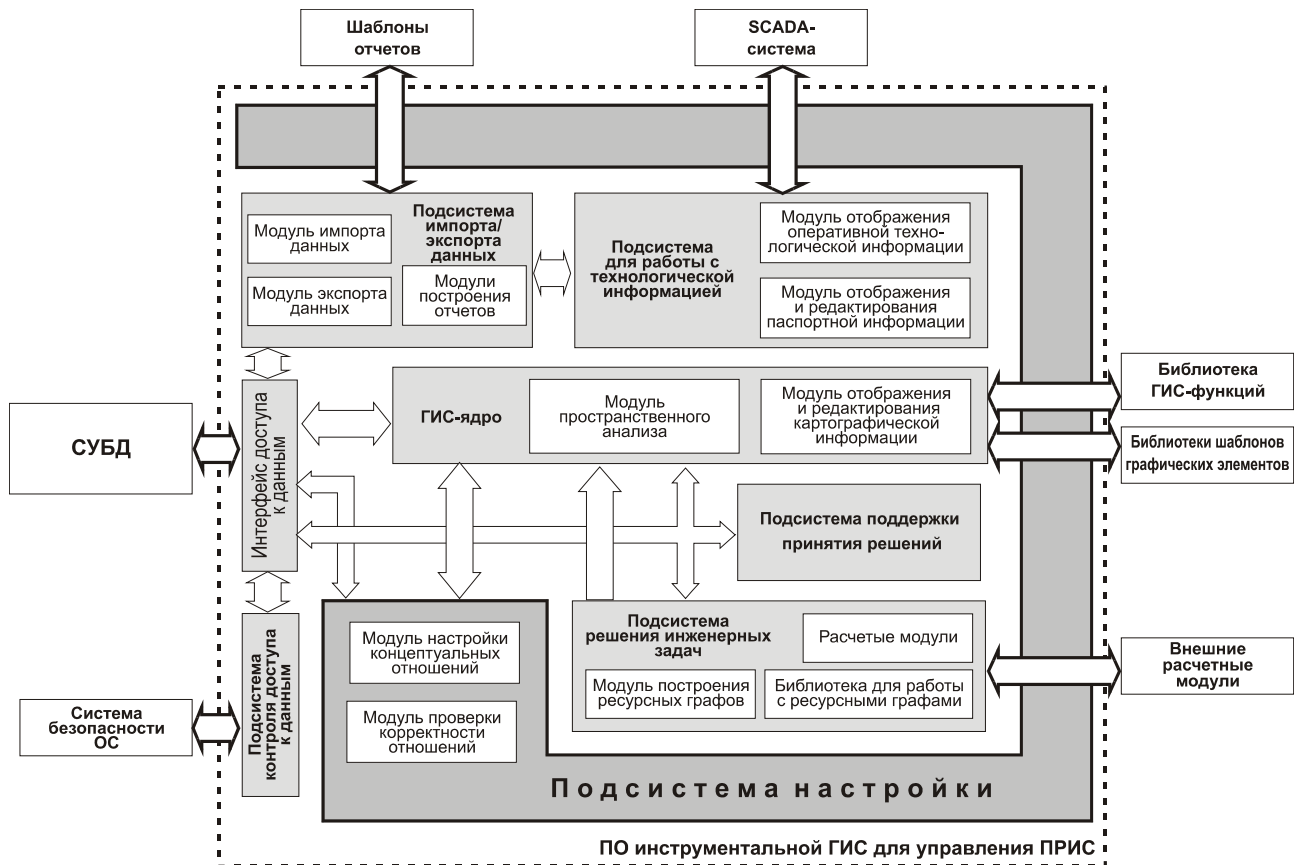


Рис. 4. Структура ПО инструментальной ГИС для управления ПРИС

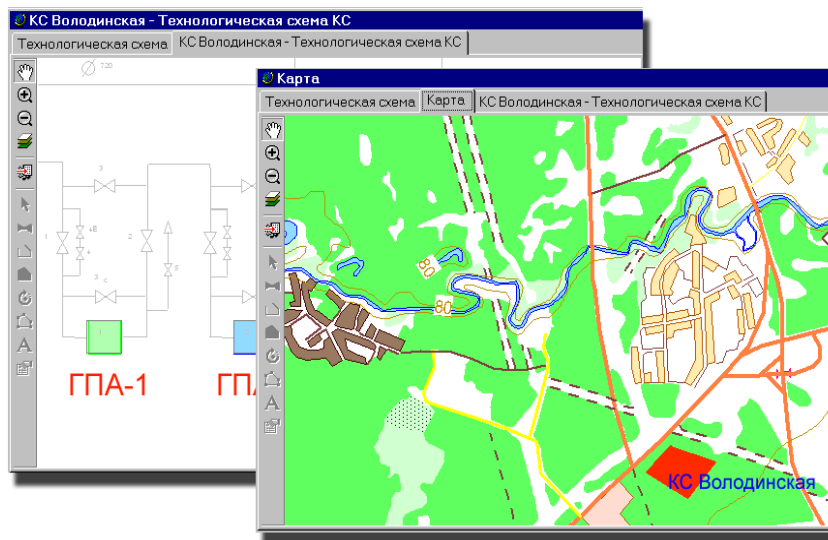


Рис.5. Раскрытие вложенной технологической схемы и карты

Модуль визуализации и редактирования картографической информации — реализует функции специализированного графического редактора для создания и модификации векторных цифровых карт и технологических схем. При редактировании вызываются функции проверки корректности топологических отношений, реализованные в модуле проверки отно-

шений. Один объект может быть представлен на неограниченном числе карт и схем (рис. 5). По выбранному на карте или схеме объекту можно получить его паспортную или оперативную технологическую информацию с использованием

подсистемы для работы с технологической информацией. Отрисовка карт и схем выполняется с использованием библиотеки шаблонов элементов.

Функциями **подсистемы решения инженерных задач** является выполнение и инициализация визуализации результатов решения ряда задач, специфичных для работы диспетчерских и линейно-эксплуатационных служб предприятия. Реализует интерфейс для подключения внешних расчетных модулей.

Для представления ресурсных графов в памяти и решения задач с их использованием, создана **объектно-ориентированная библиотека**, предоставляющая высокоуровневые средства работы с ресурсными графами. В этой библиотеке поддерживаются абстрактные классы узлов, вершин графа, класс атрибутов элементов графа, обобщенный класс ресурсного графа. В библиотеке реализованы алгоритмы решения ряда теоретико-графовых задач, адаптированных для ресурсных графов. Это такие алгоритмы, как: нахождения кратчайших путей, поиска связных компонент, решения задачи локализации аварийного участка и задачи коммивояжера. Особенностью библиотеки является абстрактный класс популяции генетического алгоритма для решения задачи коммивояжера. Различные этапы работы генетического алгоритма реализованы в как отдельные методы этого класса. Помимо этого реализованы алгоритмы решения задачи коммивояжера комбинаторным методом (полным перебором) и методом случайного поиска в пространстве решений задачи.

Существующие **расчетные модули** обеспечивают решение следующих инженерных задач:

- расчет товаротранспортной работы сети;
- расчет кратчайших путей;
- расчет зон отключения сети от источников газоснабжения в результате переключений запорной арматуры;
- локализация аварийного участка с составлением маршрута выезда аварийной бригады.

Модули построения отчетов и экспорта данных. В систему заложены возможности по генерации отчетов в текстовом или табличном виде. После выбора вида отчета происходит его автоматическое создание в виде документа Microsoft Office через механизм OLE Automation. В отчет встраиваются векторные или растровые фрагменты карт или схем, таблицы и диаграммы Microsoft Excel.

Рассматривается использование созданных программных средств инструментальной ГИС на примере разработки проблемно-ориентированной системы в рамках проекта создания ГИС «Магистраль» для управления магистральными газопроводами, выполненного по заказу ООО «Томсктрансгаз» ОАО «ГАЗПРОМ». Приводятся особенности реализации и полученные результаты.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы.

В приложения вынесены акт о внедрении полученных результатов и копии дипломов выставок, на которых демонстрировалась ГИС «Магистраль».

Основные результаты работы

В ходе выполнения диссертационной работы были получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Проведена классификация задач управления ПРИС. Сформулированы и проанализированы проблемы автоматизации задач управления ПРИС, включая проблемы создания математического и программного обеспечения для решения задач управления ПРИС, обозначено место геоинформационных систем и технологий в решении этих задач.

2. Проведено исследование проблемы моделирования отношений между объектами ПРИС и подходов к ее решению на основе различных топологических моделей данных ГИС.

3. В рамках создания концепции инструментальной ГИС для управления ПРИС сформулированы основные принципы построения такой ГИС и требования к ее ПО.

4. Предложена новая классификация отношений между объектами ПРИС, рассматриваемых при решении задач управления такими сетями. Выделены основные типы отношений: топологические, иерархические, ресурсные и логические.

5. Предложена интегрированная модель данных, позволяющая организовать интегрированное хранение пространственных и атрибутивных данных об объектах ПРИС, причем для представления пространственных данных используется разработанная векторная топологическая модель данных. Модель позволяет описывать классы объектов ПРИС, ресурсы, распределяемые при помощи ПРИС, взаимосвязи классов и ресурсов, а также описывающая вышеперечисленные типы отношений между объектами. Разработано теоретико-множественное представление такой модели данных.

6. Предложен подход к описанию концептуальных отношений различных типов между классами объектов и экземплярами классов, композиций отношений.

7. Проведено исследование важных топологических отношений между объектами ПРИС — соседства и вложенности, выявлены их свойства и определены формальные критерии их корректности, предложен теоретико-множественный подход к их описанию.

8. Предложена технология, позволяющая на основе теоретико-множественного описания предложенной модели данных при помощи современных CASE-средств проектировать структуры данных ГИС для управления ПРИС.

9. Разработаны алгоритмы анализа топологических отношений между пространственными объектами векторной карты, проверки корректности топологических отношений вложенности и соседства для пары пространственных объектов различных типов, получения ресурсного графа ПРИС по данным предложенной векторной топологической модели.

10. Разработаны алгоритмы решения ряда задач управления ПРИС на ресурсном графе сети, таких как анализ переключения запорной арматуры, нахо-

ждение кратчайших путей, вычисления товаротранспортной работы сети в условиях дефицита продукта транспортировки.

11. Разработан алгоритм комплексного решения задачи локализации аварийного участка ПРИС с составлением оптимального маршрута выезда аварийной бригады с учетом проходимости местности при движении по маршруту. Описаны методы решения задачи поиска ближайшего соседа как этапа вышеуказанного. Проанализированы наиболее известные методы решения задачи коммивояжера как этапа алгоритма составления оптимального маршрута выезда аварийной бригады и обоснована возможность применения известного генетического алгоритма решения задачи коммивояжера.

12. Проведено исследование эффективности генетического алгоритма. Показано, что он является более эффективным по сравнению с алгоритмами полного перебора и случайного поиска. По результатам этого исследования предложен адаптивный алгоритм решения задачи коммивояжера, позволяющий использовать наиболее эффективный метод в зависимости от числа вершин графа.

13. Разработана структура ПО инструментальной ГИС для управления ПРИС.

14. Созданы программные средства ГИС: подсистемы и программные модули, в том числе инструментальные средства, позволяющие проводить настройку особенностей конкретных инженерных сетей при реализации проблемно-ориентированных систем.

15. Разработана объектно-ориентированная библиотека для работы с ресурсными графами, позволяющая на основе методов объектно-ориентированного проектирования проводить описание ресурсных графов и решать на них ряд известных теоретико-графовых задач, используемых при проведении инженерных расчетов в системе.

16. Предложена технология принятия управленческих решений при помощи разработанной инструментальной ГИС.

17. Проведена апробация разработанных инструментальных средств при создании проблемно-ориентированной ГИС «Магистраль» для управления сетями магистральных газопроводов. Полученные в ходе выполнения исследований результаты и программные средства ГИС внедрены в ОАО «Томсктрансгаз», дочернем предприятии РАО «ГАЗПРОМ». Результат внедрения подтвержден соответствующим актом.

Основные публикации по теме диссертации

1. Kudinov A.V., Markov N.G. Geoinformation technologies in tasks of engineering communications networks management // In: KORUS'99 international symposium abstracts: Volume 1. — Novosibirsk, Russia, 1999. — с. 329.

2. Kudinov A.V., Markov N.G., Sherstnev V.S. Geoinformation technology for deciding the problems of main gasmain management. // In: Abstracts of the 2nd Korea-Russia Int. Symp. on Sci. and Tech. — Tomsk, TPU, 1998. — p. 87.

3. Kudinov A.V., Markov N.G., Sherstnev V.S. Geoinformation technology for solving of problems of trunk pipelines management. // In: Proceedings of the 2nd Korea-Russia Int. Symp. on Sci. and Tech. — Tomsk, TPU, 1998. — p. 225—228.

4. Кудинов А.В. Геоинформационные технологии в задачах управления пространственными сетями. // «Геоинформатика-2000»: Труды международной научно-практической конференции/ Под. ред. А.И. Рюмкина. Ю.Л. Костюка, А.В. Скворцова. – Томск, Изд-во Том. ун-та, 2000. – с. 224—229

5. Кудинов А.В., Ковин Р.В., Шерстнев В.С. Система сбора и хранения данных о состоянии магистрального газопровода. // Сборник тезисов по итогам Второй региональной научно-технической конференции студентов и молодых специалистов «Радиотехнические системы и устройства». — Томск, ТАСУР, 1997г. — с. 173.

6. Кудинов А.В., Марков Н.Г., Острасть П.М., Шерстнев В.С. Геоинформационная система «Магистраль» для паспортизации технологических объектов магистральных газопроводов. // Материалы 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Геоинформатика в нефтегазовой и горной отраслях» г. Тюмень, 2-6 апреля 2001 г. — Тюмень, 2001г. — с. 193—197.

7. Кудинов А.В., Марков Н.Г., Шерстнев В.С. ГИС «Магистраль» для управления сетями магистральных газопроводов. // «Геоинформатика-2000»: Труды международной научно-практической конференции/ Под. ред. А.И. Рюмкина. Ю.Л. Костюка, А.В. Скворцова. – Томск, Изд-во Том. ун-та, 2000. – с. 163—167

8. Кудинов А.В., Шерстнев В.С. Геоинформационный подход в задачах расчета сетей инженерных коммуникаций. // Материалы XXXVI Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс»: Информационные технологии, Новосибирский государственный университет. — Новосибирск, 1998. — с.274.