

П.И. ПАХОМОВ, В.А. НЕМТИНОВ

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО
УПРАВЛЕНИЮ ИНЖЕНЕРНЫМИ
КОММУНИКАЦИЯМИ**

Москва
«Машиностроение»
2009

УДК 54.058(075)
ББК Н76я73
П217

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор
кафедры системного анализа МИФИ
(Государственного университета)
Н.В. Максимов

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой компьютерного и математического
моделирования ИМФИ ТГУ им. Г.Р. Державина
А.А. Арзамасцев

Пахомов П.И., Немтинов В.А.

П217 Технология поддержки принятия решений по управлению инженерными коммуникациями / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов. – М.: Машиностроение, 2009. – 124 с.
ISBN 978-5-94275-482-2

Показаны подходы к разработке информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений задач, связанных с управлением инженерными сетями и обеспечением потребителей энергоресурсами. Их реализация в автоматизированной информационной системе позволит повысить качество анализа и обработки разнородных данных о пространственно-распределенных объектах и эффективность управления муниципальной инфраструктурой.

Предназначена для специалистов, занимающихся управлением объектами инженерных коммуникаций, а также аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

УДК 54.058(075)
ББК Н76я73

Научное издание

ПАХОМОВ Павел Игоревич
НЕМТИНОВ Владимир Алексеевич

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО
УПРАВЛЕНИЮ ИНЖЕНЕРНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ**

Редактор Е.С. Мордасова
Инженер по компьютерному макетированию Т.Ю. Зотова

Сдано в набор 17.08.2009 г. Подписано в печать 02.09.2009 г.
Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 7.21. Уч.-изд. л 8,0.
Тираж 500 экз. Заказ 317

ООО «Издательство Машиностроение»,
107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Подготовлено к печати и отпечатано в Издательско-полиграфическом центре
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

По вопросам приобретения книги обращаться по телефону 8(4752)638108
E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время производственная структура многопрофильного коммунального хозяйства России включает в себя более 30 видов деятельности. При этом, основной задачей деятельности служб, обеспечивающих нормальное его функционирование, является доставка потребителям того или иного носителя с заданными физическими параметрами. Эта задача ставит перед эксплуатирующими организациями необходимость решения следующих вопросов:

- инвентаризация объектов распределенной производственной и вспомогательной инфраструктуры соответствующих служб коммунальных систем;
- помощь в организации обслуживания клиентов и расчетов с ними за предоставляемые ресурсы (воду, газ, электроэнергию);
- анализ деятельности предприятия и качества обслуживания потребителя;
- оперативное диспетчерское управление в нормальном режиме эксплуатации;
- оперативное реагирование на аварии и чрезвычайные ситуации, в том числе внешние по отношению к данной конкретной сети;
- обеспечение профилактических и аварийных ремонтных работ;
- мониторинг состояния сетей и предотвращение аварийных ситуаций;
- конкретное развитие и проектирование инженерных сетей;
- стратегическое планирование, прогнозирование и выявление потребностей в развитии инженерных сетей.

В настоящее время широко применяются информационные системы поддержки принятия решений при управлении в сфере жилищно-коммунального хозяйства. Их применение повышает эффективность труда специалистов, автоматизируя рутинные операции сбора информации и оформления документации при организации мониторинга состояния отрасли, финансового учета и планирования ресурсов. Однако низкая эффективность управления коммунальным хозяйством очень часто обуславливается отсутствием моделей, адекватно описывающих процессы принятия управленческих решений.

Выполненная работа посвящена разработке информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений по управлению коммунальными системами и обеспечению населения энергоресурсами, реализация которых в автоматизированной информационной системе (АИС) позволит повысить качество анализа и обработки разнородных данных о пространственно-распределенных объектах и эффективность управления муниципальной инфраструктурой.

1. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОБЪЕКТАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

1.1. ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЯМИ

В настоящее время производственная структура многопрофильного коммунального хозяйства Российской Федерации включает в себя более 30 видов деятельности, ведущие из которых: жилищное хозяйство, электро-, тепло- и газоснабжение, водоснабжение и канализование сточных вод и др.

В системе коммунального хозяйства действует более 50 тыс. предприятий, в отрасли занято около 4 млн. человек. Несмотря на рост объемов услуг, работ и продукции, произведенных в отрасли, многие предприятия убыточны. Стоимость основных фондов составляет более четвертой части национального достояния страны. Однако фонды изношены в среднем на 40 %, а в отдельных регионах – на 60 %, что зачастую приводит к различным аварийным ситуациям. Уровень надежности инженерных коммуникаций в России в 2,5 – 3 раза ниже, чем в европейских странах. В то же время только на поддержание жилищно-коммунальной сферы государство расходует почти 4 % валового внутреннего продукта и до 30 % общих расходов бюджета территорий [102]. Финансирование коммунального хозяйства (КХ) в связи со спецификой его функционирования осуществляется прежде всего из бюджетов субъектов Федерации. Это расходы на капитальный ремонт жилого фонда; на покрытие убытков жилищно-эксплуатационных организаций, занимающихся обслуживанием жилого фонда; разницы в тарифах на теплоэнергию, отпускаемую для отопления жилых домов; некоторые другие расходы.

В настоящее время региональные коммунальные системы, обеспечивающие доставку энергоносителей потребителям, в большинстве субъектов Российской Федерации структурно объединяют следующие службы (филиалы): «Водоканал», «Электросетьсервис», «Теплосервис», «Энергосбыт». При этом, каждая служба выполняет определенный набор функций. Так, например, из множества видов деятельности филиала «Водоканал», непосредственно связанных с управлением водопроводными и канализационными сетями, следует выделить:

- обеспечение надежной работы канализационных сетей;
- контроль эксплуатации внутренних систем канализации;
- развитие и применение высокоэффективных механизмов и оборудования;
- обеспечение систематического наблюдения за гидравлическим режимом работ водопроводной и канализационной сети;
- принятие необходимых мер к срочной ликвидации аварий;
- выполнение планово-предупредительных ремонтов сети, сооружений;
- учет поступающих стоков на очистные сооружения;
- внедрение новых высокопроизводительных технологических процессов очистки стоков;
- контроль технологических процессов, заданных режимов работы оборудования;
- проведение работ по подготовке и реализации производственного процесса подъема, подготовки, транспортировки и подачи питьевой воды, его механизации и автоматизации, предупреждения аварийных ситуаций, повышения качества воды и экономии всех ресурсов;
- выполнение работ по устранению аварийных ситуаций на сетях водопровода;
- проведение анализа работоспособности системы водоснабжения города с целью обеспечения рационального режима работы технологического оборудования;
- контроль использования питьевой воды;
- проведение полного химического анализа и бактериологического исследования воды на всех стадиях технологического процесса доставки ее потребителям;
- своевременное информирование о резких изменениях качества питьевой воды и отклонения ее от норм;

- проведение полного анализа сточных вод, поступающих на очистные сооружения, на всех стадиях их очистки и на выпуске в природный водоем;

- другие виды деятельности.

Основными видами деятельности, непосредственно связанными с управлением электрическими сетями, осуществляемыми филиалами «Электросетьсервис», являются:

- осуществление оперативного диспетчерского управления электрическими сетями;

- контроль за режимами работы линий электропередач, оборудованием, нагрузками, напряжением в сети, расходом электроэнергии;

- организация своевременного устранения аварийных ситуаций на объектах электроснабжения: проведение отключения (переключения) поврежденных объектов, составление заявок на своевременное устранение аварийных ситуаций и передача их в аварийные службы энергоснабжающих организаций;

- обеспечение бесперебойной работы распределительных пунктов и трансформаторных подстанций;

- внедрение наиболее рациональных схем и методов эксплуатации;

- обеспечение бесперебойной работы кабельных линий электропередач;

- проведение своевременных эксплуатационных и капитальных работ;

- проведение мониторинга и анализа поступления в сеть и отпуска из сети электрической энергии с целью выявления небалансов электрической энергии по сетям;

- проведение расчетов нормативно-технологических потерь электрической энергии с применением программного обеспечения;

- остальные виды деятельности.

Другие службы региональных коммунальных систем выполняют подобные функции.

Среди множества проблем, требующих решения в ходе выполнения жилищно-коммунальной реформы, особое место занимает достоверность и доступность информации, которая создается, используется и распространяется в коммунальном хозяйстве. В первую очередь это сведения о жилищном фонде и жителях, о потреблении энергоресурсов, оперативная информация о текущем состоянии объектов КХ, в том числе и инженерных коммуникаций.

В соответствии с Федеральной целевой программы «Жилище» (далее ФЦП) на 2002 – 2010 гг., утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации, основными задачами являются [102]:

- финансовое оздоровление жилищно-коммунальных предприятий путем реструктуризации их задолженности и доведения тарифов до экономически обоснованного уровня, жесткого выдерживания установленных стандартов оплаты услуг населением, перехода от дотирования предприятий и предоставления категориальных льгот к субсидированию малообеспеченных семей, ликвидации перекрестного субсидирования тарифов;

- формирование инвестиционной привлекательности предприятий жилищно-коммунальной сферы путем создания эффективных процедур тарифного регулирования жилищно-коммунальных предприятий – естественных локальных монополистов, экономически заинтересовывающей их в сокращении затрат и ресурсов; развитии деятельности по управлению муниципальными объектами коммунальной инфраструктуры с привлечением частного бизнеса на условиях концессионных соглашений;

- обеспечение государственной поддержки процесса модернизации жилищно-коммунального комплекса как путем предоставления бюджетных средств, в основном на возвратной основе, так и формирования финансовых инструментов предоставления государственных и муниципальных гарантий по привлекаемым инвестициям.

Подпрограммой определены следующие организационно-управленческие и финансовые механизмы, обеспечивающие эффективную работу предприятий коммунального хозяйства (КХ):

- реструктуризация и ликвидация задолженности предприятий коммунальных систем;

- обеспечение мер адресной социальной защиты населения с использованием социальных счетов;

- рыночные механизмы функционирования коммунальных систем.

- формирование условий для привлечения инвестиций в модернизацию КХ.

Главным условием успешной реализации основных положений ФЦП «Жилище» является создание единого информационного пространства, обеспечивающего доступ к достоверной информации об оказываемых коммунальных услугах, претензиях к их качеству, учету потребителей услуг и финансовых

потоках для всех поставщиков жилищно-коммунальных услуг и контролирующих инстанций любого уровня. До сих пор подобная информация доступна лишь из государственной и ведомственной отчетности за прошедший период и не всегда отражает реальное состояние дел. Это затрудняет взаимоотношения между организациями, производителями услуг, и организациями, предоставляющими услуги населению. Это же мешает оценить реальное положение дел и служит непреодолимым барьером привлечения инвестиций частного бизнеса в сферу ЖКХ.

Существует проблема: действующая система отчетности обеспечивает сбор основных сведений о деятельности предприятий жилищно-коммунального комплекса, на территории Российской Федерации, однако, ее настоящее состояние характеризуется низким уровнем автоматизации, отсутствием оперативного обмена между органами управления и предприятиями ЖКХ. Следствием этого является недостаточная оперативность получения информации, ограниченная возможность использования имеющейся информации органами исполнительной власти, хозяйствующими субъектами, общественными организациями и гражданами. Отсутствие оперативной, достоверной информации о финансово-хозяйственной деятельности ЖКХ в органах государственной и исполнительной власти всех уровней приводит в масштабах страны к значительным финансовым потерям.

Необходимость получения актуальной и достоверной информации о финансово-хозяйственной деятельности на территории Российской Федерации предприятий ЖКХ настоятельно требует внедрения новых информационных технологий. Внедрение таких технологий не сводится только к установке вычислительной техники на предприятиях. Требуется решить достаточно сложные вопросы нормативно-правового обеспечения системы и обмена данными с другими внешними системами.

Другой проблемой, на решение которой направлено создание интегрированной автоматизированной информационной системы (АИС) ЖКХ, является проблема взаимодействия различных автоматизированных информационных систем (БТИ, Земельный кадастр, Государственный реестр населения и т.д.), используемых на муниципальном уровне. Создаваемые в органах исполнительной власти АИС формируются на основе выработанных каждым органом государственной власти методических принципов, технологий сбора и использования информации, не унифицированных информационно-лингвистических средств. Все это значительно усложняет автоматизированное информационное взаимодействие между различными подсистемами АИС муниципального и регионального уровня. АИС ЖКХ является территориально-распределенной информационно-телекоммуникационной системой, обеспечивающей в автоматизированном режиме формирование, ведение и использование баз данных финансово-хозяйственной деятельности предприятий коммунальных систем, баз данных потребителей услуг (населения и юридических лиц). Система должна обеспечивать информационное обслуживание органов государственной власти, органов местного самоуправления, хозяйствующих субъектов и населения. Система должна осуществлять эффективное информационное взаимодействие с другими АИС, разрабатываемыми в рамках программы информатизации РФ. АИС ЖКХ включает: информационный ресурс; средства информатизации – программно-технический комплекс и телекоммуникационную систему, осуществляющие автоматизированный сбор и хранение данных и обеспечивающие доступ к ним; единое информационно-лингвистическое обеспечение; организационно-правовое обеспечение ее создания и функционирования.

К потребителям информации АИС ЖКХ относятся: население, органы государственной власти, предприятия жилищно-коммунального комплекса, инвестиционные компании, банки, любые другие организации и частные лица, имеющие интересы в данной области хозяйственной деятельности.

АИС ЖКХ строится на основе действующих государственных нормативных правовых актов, регламентирующих процесс хозяйственной деятельности предприятий жилищно-коммунального комплекса, и обеспечивает необходимую информационную поддержку принятия решения органами государственной власти. АИС ЖКХ не требует коренного изменения существующей нормативной базы и организационной структуры системы хозяйственной деятельности отрасли, а создает необходимые предпосылки для совершенствования этой системы.

Дальнейшее развитие жилищно-коммунального комплекса России должно осуществляться с применением «новых методов и механизмов управления, в том числе и на основе повсеместного использования информационных и телекоммуникационных технологий» (ИКТ). В первую очередь, ИКТ должны помочь решить задачу по организации мониторинга сферы ЖКХ.

В 2007 г. в рамках ФЦП «Электронная Россия» запущен проект по созданию типового решения управления ЖКХ [110]. Это решение должно обеспечить информационно-аналитическую поддержку принятия решений в сфере жилищно-коммунального хозяйства, в том числе по вопросам мониторинга

состояния отрасли, финансового учета и планирования ресурсов. Его составными частями будут программное обеспечение, методические рекомендации по внедрению, а также блок, связанный со стандартами и регламентами информационного взаимодействия и форматами предоставления данных.

Внедрение информационных технологий позволит создать качественно новую систему управления КХ, а также систему регламентированного взаимодействия с исполнительными органами государственной власти. В основе должна быть информационная система, которая позволит преодолеть разрыв между уже относительно развитой нормативной базой и правоприменительной практикой, а также повысить качество принимаемых решений, социальную защищенность населения и усилить контроль за жилищно-коммунальной сферой деятельности.

На сегодняшний день идет активная автоматизация отдельных направлений деятельности КХ:

- начисления и учета сбора коммунальных платежей населения, как по отдельным, так и по всем видам услуг в рамках региона, района, города;
- учета инвестиций в строящиеся жилые здания и иные сооружения;
- сбора и обработки телеметрической информации, а также мониторинга показателей функционирования городской инфраструктуры и др.

Решений по автоматизации всего комплекса задач КХ на основе системного подхода пока на рынке нет. Появляются единичные разработки информационной поддержки жизненного цикла инфраструктуры КХ. Но АИС КХ должна создаваться как элемент, интегрированный с АИС муниципального образования (МАИС – муниципальная информационная система). Структурно МАИС может состоять из модулей основных направлений деятельности органов муниципального образования и информационных систем, созданных для обработки информационных потоков от отраслевых и других систем в хранилище данных, поиска и отображения данных, в том числе картографических.

Для принятия обоснованных решений в процессе управления КХ необходима разнообразная информация о состоянии жилого фонда, информация о юридических лицах, предпринимателях, информация о технических характеристиках квартир и комнат, о земельных участках, а также информация о пространственном расположении зданий и сооружений, различных инженерных сетей.

Технологии сбора, обработки, отображения и автоматизированного обмена информацией, разработанные в АИС территориальных исполнительных органов, могут с успехом применяться и в интересах КХ для:

- сбора и хранения материалов по содержанию жилищного и нежилого фонда, учета жилой площади государственного жилищного фонда;
- координации работы аварийных служб жилищно-эксплуатационных организаций, сбора и обработки информации по аварийно-опасным объектам жилищного фонда, а также комплексного анализа аварийных состояний;
- обеспечения контроля над обращением с отходами производства и потребления и организации учета образования отходов производства и потребления, а также разработки мероприятий по оптимизации обращений с твердыми бытовыми отходами;
- обеспечения автоматизированного информационного обмена между подразделениями КХ, а также с органами исполнительной власти города и местного самоуправления.

1.2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одним из важнейших факторов, определяющих эффективность сложной технической системы, к которым относится и коммунальная система, является ее структура, характеризующая состав и взаимосвязь элементов этой системы. При структурном моделировании сложных систем широко используется математический аппарат теории множеств и теории графов.

В ранних работах Квиллиана были сформулированы идеи использования формализма теории графов (graph theory) для построения семантических сетей [23].

В теории графов сетью (net) принято называть взвешенный (weighted), ориентированный граф, т.е. граф, в котором дуги промаркированы некоторыми числами [81, 82]. Такой граф можно сопоставить с дорожной картой, на которой для каждой дороги обозначено расстояние между двумя населенными

пунктами или участком водопроводной сети. Часто на графах весом дуги оценивается соответствующая «стоимость» пути.

Семантическая сеть представляет собой ориентированный граф, где вершины представляют понятия предметной области, а дуги – отношения между понятиями. При построении семантической сети могут использоваться различные виды графов. Для пространственно-временных отношений используются обыкновенные графы. Также их можно использовать для представления причинно-следственных связей.

Одной из главных проблем представления семантических отношений между понятиями является определение такого разнообразия связей, которое будет достаточно для описания различных семантических аспектов знаний рассматриваемой предметной области. В то же время это разнообразие должно быть в значительной степени универсальным и не должно зависеть от специфики предметной области.

Большинство работ по семантическим сетям были направлены именно на развитие сетевых отношений (связей) для более полного моделирования семантики естественного языка. Как отмечено в работе Люгера [54], базы знаний обеспечивают общность и непротиворечивость за счет реализации базовых семантических отношений естественного языка как части формализма, а не как части знаний о предметной области. В этой работе отмечается, что «ключевым вопросом является выделение примитивов для языка семантических сетей. Примитивами сетевого языка являются те понятия, для понимания которых интерпретатор программируется заранее и которые не представлены в самом языке». Еще в работе [54] отношения определялись на основе грамматики английского языка. Связи соответствовали роли существительного или группы существительных, входящих в заданное предложение. К числу возможных ролей относились «агент», «объект», «инструмент», «время» и «место». Предложение представлялось набором узлов, один из которых соответствует глаголу, а другие узлы представляют остальные понятия в предложении. Такая структура получила название падежный фрейм (case frame).

Часто в качестве отношений семантической сети выступают связи следующих видов:

- связи, определяющие тип объектов («это есть» или «класс–подкласс», «иметь частью» или «часть–целое», «принадлежать» или «элемент–множество» и т.п.);
- функциональные связи (определяемые обычно глаголами «производит», «влияет», ...);
- количественные («больше», «меньше», «равно», ...);
- пространственные («далеко от», «близко от», «за», «под», «над», ...);
- временные («раньше», «позже», «в течение», ...);
- атрибутивные связи (иметь свойство, иметь значение, ...);
- логические связи («и», «или», «не») и др.

Характерной особенностью семантических сетей является обязательное наличие в одной сети трех типов отношений: класс–элемент класса; свойство–значение; экземпляр элемента класса.

Проблема поиска решения в базе знаний типа семантической сети сводится к задаче поиска фрагмента сети, соответствующего некоторой подсети, отвечающей поставленному вопросу. Подобного рода задачи решаются с помощью математического аппарата теории графов.

Традиционный аппарат теории множеств и графов не имеет развитых средств описания разнородных и разнообразных свойств объектов, моделируемых элементами множества или вершинами и ребрами графа, что затрудняет практическое применение данного аппарата при моделировании технических (водопроводных, тепловых, газовых и др. сетей), организационно-экономических, экологических и других реальных систем.

Указанный недостаток математического аппарата обычных множеств и графов во многом устраняется при использовании полихроматических множеств и графов [81 – 84]. В отличие от обычного множества, в полихроматическом множестве представляются не только составы абстрактных элементов, но и составы свойств множества и его элементов; полихроматический граф представляется полихроматическим множеством вершин и полихроматическим множеством своих ребер или дуг.

Структурное моделирование технических систем с использованием аппарата полихроматических множеств и графов к настоящему времени апробировано в различных отраслях машиностроения и в 1980-е гг. было отражено в нормативно-технических документах Госстандарта, регламентирующих автоматизированное решение задач конструкторской и технологической подготовки производства. Дальнейшие исследования выявили существенные преимущества аппарата полихроматических множеств и графов, по сравнению с другими средствами, при создании математического и информационного обеспечения АИС для других предметных областей [38, 39, 42, 49].

При отсутствии формализованных методов решения некоторых задач компьютеризованного интегрированного производства во всем мире бурно развиваются унифицированные языковые средства представления используемой информации. Широко известна методология SADT, послужившая основой для создания языка представления данных EXPRESS, регламентированного стандартами ISO 10303. Все большее распространение получает унифицированный язык моделирования UML, использующий методологию объектно-ориентированного программирования и в большей мере отражающий специфику смыслового описания процессов функционирования сложных систем.

К таким системам, ориентированным на комплексное компьютерное моделирование всех этапов жизненного цикла сложных изделий, относится разработанная в нашей стране иерархическая система математического моделирования объектов на различных уровнях абстрагирования ИСТРА [81, 84], математической основой которой является аппарат полихроматических множеств и полихроматических графов. Любой объект моделируется в системе ИСТРА одинаковыми средствами на следующих основных уровнях абстрагирования на:

- вербальном (лингвистическом) уровне описания объекта на естественном языке пользователя;
- теоретико-множественном уровне моделирования объекта методами теории полихроматических множеств и полихроматических графов;
- логическом уровне, с использованием аппарата математической логики для описания отношений между элементами и свойствами объектов, моделируемых полихроматическими множествами и полихроматическими графами;
- количественном уровне, с использованием аппарата алгебры, геометрии, математического анализа и т.п.

Переход от одного к другому уровню представления объекта в системе ИСТРА осуществляется формализованными методами.

Для построения схемы инженерных коммуникаций широко применяется графовая технология, в первую очередь при решении задач расчета режимов и проектирования сетей; в разных аналитических задачах, например, в подсистеме дежурного диспетчера для своевременной локализации аварий, для поиска возможных вариантов резервирования маршрутов доставки потребителям энергоносителей и т.д.

Для выполнения пространственного анализа данных объектов территории в настоящее время используются математические методы исследования геометрии, топологии и других свойств абстрактных объектов, их множеств и структур [112 – 114]. Более широкое их применение может осуществляться путем:

- расширения функциональной полноты традиционных методов, технологии и программных средств пространственного анализа в ГИС за счет использования возможностей развитых математических методов анализа многомерных данных;
- развития новых методов, основанных на интеллектуальных вычислительных технологиях, как базы для создания следующего поколения удобных и более сильных инструментальных программных средств анализа геоданных;
- создания новых моделей данных, информационных технологий и программных средств, специально предназначенных для многомерного анализа данных, моделирования и прогноза территориально распределенных процессов.

В последние годы разработаны статистические адаптивные методы анализа многомерных данных, которые получили название «нейросетевые методы». Они применяются не только для анализа данных, но и для построения моделей процессов, разворачивающихся в многомерных пространствах. Статистические и адаптивные методы анализа геоданных позволяют улучшить качество исходной информации и построить нейросетевую модель.

Другим направлением развития геоинформатики является использование теории искусственного интеллекта и экспертных систем. В этом случае экспертная система определяется как система искусственного интеллекта, использующая знания предметной области для решения возникающих в ней задач.

Факторы, свидетельствующие о необходимости разработки и внедрения экспертных систем [123, 124]:

- невозможность или неэффективность математического моделирования;
- выполнение небольшой задачи, требующей многочисленного коллектива специалистов, поскольку ни один из них не обладает достаточным знанием;
- большое расхождение между решениями самых хороших и самых плохих исполнителей.

В связи этим можно отметить, что экспертные системы используются для решения трудно формализованных задач со следующими характерными признаками:

- задачи не могут быть выражены в числовой форме;
- цели нельзя выразить в терминах точно определенной целевой функции;
- не существует алгоритмического решения задач;
- если алгоритмическое решение есть, то его нельзя использовать из-за ограниченности ресурсов (времени, памяти).

Основу экспертной системы составляет база знаний. Для объектов коммунальных систем – это, в первую очередь, знания об элементах инженерных коммуникаций различного назначения и технологических процессах доставки потребителям энергоносителей. Существуют несколько способов описания знаний. Различают фреймовые и продукционные модели.

Во фреймовой модели, разработчиком которой является Марвин Минский [63], под фреймом понимается фиксированная структура данных, представляющая стереотипную ситуацию. К каждому фрейму присоединяется несколько видов информации. Часть этой информации – о том, как использовать фрейм. Часть о том, что можно ожидать далее. Часть о том, что следует делать, если эти ожидания не подтвердятся. Таким образом, фрейм подобен записи, в которой сохранена информация, описывающая стереотипную ситуацию, и которая может быть адаптирована под реальное состояние среды. Основной идеей фреймового подхода является сосредоточение всей информации, относящейся к одному объекту в одной структуре данных вместо распределения ее по базе знаний. Следует отметить, что фрейм представляет более естественную форму для отображения иерархически организованных знаний.

Продукционная модель – это модель вычислений, основанная на продукционных правилах, представляющих знания о решении задач в виде правил «если условие, то действие». В продукционной модели знания представляются в виде правил [11, 26, 29].

При использовании продукционных моделей в АИС, основанных на знаниях, имеется возможность:

- применения простого и точного механизма использования знаний;
- представления знаний с высокой однородностью, описываемых по единому синтаксису.

В последние годы наблюдается повышение интереса к нейронным сетям, которые успешно применяются в самых различных областях – бизнесе, технике, геологии, физике и других областях знаний. Нейронные сети вошли в практику везде, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации или управления. Такой успех определяется двумя причинами:

1) нейронные сети – исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. В частности, нейронные сети нелинейны по своей природе. На протяжении многих лет линейное моделирование было основным методом моделирования в большинстве областей, поскольку для него хорошо разработаны процедуры оптимизации. В задачах, где линейная аппроксимация неудовлетворительна (а таких достаточно много), линейные модели работают плохо;

2) нейронные сети учатся на примерах. Пользователь нейронной сети подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения, который автоматически воспринимает структуру данных. При этом от пользователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем, например, при использовании традиционных методов статистики.

В ближайшей перспективе интегрированные с геоинформационными системами нейронные сети – мощный инструмент для решения широкого класса задач, обеспечивающий эффективную поддержку принятия решений. В качестве входных и выходных данных нейронная сеть может использовать пространственно-координированные данные. Программы, созданные на основе нейросетевых алгоритмов, будут динамически модифицировать слои электронной карты, изменять характеристики существующих объектов, создавать новые объекты. В результате обработки массива имеющихся данных могут также возникать новые слои карты, в то время как существующие слои будут приобретать динамические свойства. Наиболее выигрышно они проявляют себя в ситуациях, когда приходится иметь дело с большими массивами информации, хранящимися в крупных организациях, на основе которых принимаются решения. В них нуждаются специалисты, оценивающие и прогнозирующие состояние какой-либо области человеческой деятельности, например, рынков сбыта продукции, реальной стоимости недвижи-

мости, загрязнения территории. Планирование очередности действий при развитии территорий и их инвестиционной привлекательности, выявление зон с наиболее напряженной экологической, социальной или экономической ситуацией, анализ ситуаций, возникающих при управлении коммунальными системами – это задачи, которые невозможно решать на современном уровне без привлечения интеллектуальных геоинформационных систем.

Интегрированные решения на основе ГИС и нейронных сетей пока представлены слабо, несмотря на то, что повышение функциональной мощности геоинформационных систем за счет интеграции специальных модулей расширения или ГИС-приложений – одна из важнейших черт современных геоинформационных систем. Проблема интеграции нейронных сетей и ГИС может быть решена в ближайшей перспективе тремя способами:

- интеграцией нейросетевых моделей в ГИС с использованием специализированных средств геоинформационной системы (программирование на встроенных языках типа Avenue, MapBasic и т.п.);
- развитием интерфейса между отдельными приложениями нейросетевого анализа и ГИС как самостоятельными системами;
- созданием прикладного программного обеспечения нейросетевых систем с элементами ГИС.

В настоящее время происходит широкое внедрение средств ГИС в деятельность органов муниципального управления. И все чаще возникает необходимость расширения стандартных возможностей ГИС дополнительными функциями, а именно создание систем на основе интегрированной среды САПР/ГИС/ЭС [8 – 10, 14 – 16, 31 – 33, 35, 44, 55, 97, 103].

При этом одной из основных задач является создание единого информационного банка территории, формирующего базу для принятия решения.

Автоматизированное проектирование территории, описанное в работе [51], представляет собой определение расположения нового объекта среди уже существующих. По своей сути – это задача топологического синтеза. Информация об объектах хранится в формате ГИС – географические примитивы, описывающие объекты и связанная с ними база данных, содержащая свойства и характеристики объектов. В результате автоматизированного проектирования предполагается создание нового объекта, исходя из заданных критериев. Возможные критерии: пространственные, экономические; экологические. Полученные результаты должны отображаться в среде ГИС.

Методика автоматизированного проектирования территории включает в себя следующие этапы:

- сбор информации о территории – выделение объектов на территории, определение их характеристик и свойств, определение значений этих характеристик и свойств;
- создание электронной карты и базы данных – оцифровка карты местности, выделение на ней объектов и создание базы данных, содержащей их характеристики и свойства;
- выделение задач проектирования территории, которые необходимо решать – выбор объектов проектирования;
- создание базы знаний – определение правил размещения заданных объектов и занесение этих правил в базу данных;
- автоматизированное проектирование – автоматическая генерация вариантов размещения заданных объектов, исходя из различных критериев.

Процедура решения задачи проектирования территории состоит из следующих этапов:

- перевод информации из формата ГИС во внутренний формат системы;
- синтез объекта (объектов);
- перевод информации из внутреннего формата в формат ГИС.

Графическая информация о проектируемой территории может состоять из многих слоев: ландшафтный, почвенный, слой объектов и т.д. При этом одной из основных задач является свертка характеристик объектов из всех слоев в один результирующий слой, в котором и производится проектирование. На базе каждого из слоев создаются дополнительные слои, состоящие из полигонов, имеющих определенную стоимость. Стоимость зависит от стоимости пересечения проектируемого объекта с каждым из типов ландшафтов – в ландшафтном слое; с каждым из типов почв – в почвенном слое, с каждым из типов объектов – в слое объектов; и т.д. Задача заключается в получении геометрического пересечения полигонов всех слоев.

Таким образом, в работе представлена методика выбора места для размещения нового объекта на территории с заданными характеристиками, включая и все инженерные коммуникации, с учетом выбранных критериев.

В связи с тем, что в данной работе сделан акцент на разработку информационно-логических и процедурных моделей поддержки принятия решений при управлении объектами коммунальных систем и, в первую очередь, водопроводных сетей, то при моделировании технологических процессов доставки энергоносителей потребителям будем использовать известные математические модели, приведенные в соответствующих ГОСТ. Так при выполнении гидродинамических расчетов для водопроводных сетей нами использованы следующие СНиП: СНиП 2.04.02–84, СНиП 2.04.03–85, СП 40-109–2006 и др. [1, 4, 34, 48, 91 – 92, 95, 108, 122].

1.3. ОБЗОР ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В настоящее время известно достаточное количество полнофункциональных ГИС, многие из которых используются при управлении территориями и в частности при управлении коммунальными системами. Среди них – системы западного производства (MapInfo Professional, WinGIS, ArcGIS ArcEditor, ArcGIS ArcInfo, ArcGIS ArcView, ArcView GIS, Autodesk Map, GeoMedia Professional, MicroStation/J, Manifold System Professional), отечественные ГИС (GeoGraph, ГрафИн, «Горизонт», «ИнГео», ПАПК, (GeoLink, GK32, Zulu, WinPlan) [112, 113].

Практически все системы работают на платформе Windows. При этом, все системы поддерживают обмен пространственной информацией (экспорт и импорт) со многими ГИС и САПР через основные обменные форматы: SHP, E00, GEN (ESRI), VEC (IDRISI), MIF (MapInfo Corp.), DWG, DXF (Autodesk), WMF (Microsoft), DGN (Bentley). Данные системы обеспечивают работу с растровой информацией, поддерживая при этом все основные форматы (TIFF, JPEG, GIF, BMP, WMF, PCX).

Наиболее распространенными зарубежными системами в России являются: ArcView GIS, MapInfo Professional MicroStation/J, WinGIS, Autodesk Map. Среди отечественных ГИС можно отметить: ГеоГраф, Панорама (Карта 2000), ПАПК, GeoLink.

MapInfo Professional разработана фирмой MapInfo Corp. (США) [32]. Она входит в число самых распространенных в России. Пакет MapInfo специально спроектирован для обработки и анализа информации, имеющей адресную или пространственную привязку. Среди функциональных возможностей системы отметим:

- усовершенствованный интерфейс, включающий: отображение расстояния при рисовании объектов; отображение координат в градусах, минутах, секундах; сохранение настроек печати, например ориентации бумажного листа, в рабочем наборе и т.п.;
- построение буферных зон вокруг любого объекта или группы объектов (точек, линий, полилиний, полигонов);
- создание тематических карт: методами картограмм, картодиаграмм, значков, точечным методом, методами изолиний, отмывки рельефа и др.;
- трехмерная визуализация поверхностей и картографических объектов (точек, линий, полилиний и полигонов).

Программа **Zulu** разработана компанией «ПОЛИТЕРМ» [32, 118]. Система является полностью российской разработкой. В системе реализованы большой набор векторных оверлейных операций, построение буферных зон, создание контурных объектов по сети. Система обеспечивает возможность работы с произвольным числом растровых изображений формата PCX, BMP, TIFF, JPEG. Реализована возможность ввода модели инженерной сети по картам и планам, а также растровой подложке; автоматическое кодирование топологии инженерных сетей на этапе ввода данных.

Программа **Горизонт** разработана НИИАА им. В.С. Семенихина [32]. Она предназначена для создания геоинформационных систем, ведения и документирования оперативно изменяющейся обстановки на картографическом фоне. Система позволяет:

- наносить обстановку в интерактивном режиме или на основе обработки входной информации;
- создавать пользовательские слои карты (обстановки) из объектов, полученных в результате выполнения запросов к базам данных пользователя;

- получать текстовую, аудио и видеоинформацию об объектах электронной модели и обстановки из картографических БД или из внешних баз данных;
- обеспечивать слежение за подвижными объектами; создавать, дополнять и редактировать библиотеки условных обозначений электронной модели;
- производить (3D-визуализацию электронной модели и результатов решения прикладных задач.

Программа **ИнГео** разработана ЦСИ «Интегро» (Уфа) [32, 113]. Программа ориентирована на решение муниципальных задач на крупномасштабных топографических планах. Она позволяет создавать электронные карты векторизацией по растровой подоснове и по результатам полевых работ.

Программа **Парк** разработана фирмой «Ланэко». Система является полнофункциональной ГИС, обеспечивающей: интеграцию растровых и векторных представлений; преобразование формы представления данных; аналитические, информационно-справочные и измерительные функции; построение производных карт; фильтрацию данных; анализ поверхностей; многомерное районирование; исследование зависимостей; кластеризацию и классификацию; распознавание и картографирование ситуаций и т.п.

Система **ArcGIS ArcInfo** разработана фирмой ESRI, Inc. (США) [7, 21, 32, 52, 57, 68]. ArcGIS ArcInfo является полнофункциональной ГИС и состоит из двух независимо устанавливаемых программных пакетов – ArcInfo Workstation и ArcInfo Desktop. ArcInfo Desktop, в свою очередь, состоит из трех базовых модулей:

- ArcMap – отображение, редактирование и анализ данных, создание карт;
- ArcCatalog – доступ к данным и управление ими;
- ArcToolbox – инструменты расширенного пространственного анализа, управления проекциями и конвертации данных.

– Система может расширяться за счет подключения дополнительных модулей расширения как для ArcInfo Workstation, так и для ArcInfo Desktop. Дополнительные модули ArcInfo Workstation:

– ARC COGO осуществляет поддержку координатной геометрии (набор средств и функций для работы с геодезическими данными), ее интеграцию с ARC/INFO;

– ARC GRID добавляет возможности растрового моделирования в модель данных ARC/INFO и превращает ее в интегрированную векторно-растровую ГИС;

– ARC GRID имеет мощный набор средств анализа и управления непрерывно распределенными числовыми и качественными признаками, представляемыми в виде регулярных моделей, а также моделирования сложных процессов;

– ARC TIN предназначен для моделирования в среде ARC/INFO топографических поверхностей, например рельефа местности, или физических поверхностей, таких, как плотность населения, электромагнитные поля, уровень шума;

– ARC NETWORK – для моделирования и анализа топологически связанных объектов в виде пространственных сетей, оценки и управления ресурсами, распределенными по сетям, и процессами в таких сетях;

– ArcScan – для ввода картографических данных со сканеров.

Достоинствами системы являются: совершенные средства для создания карт, ввода, редактирования и преобразования данных; поддержка топологической и сетевой моделей данных; широкий спектр функций пространственного анализа; полная интеграция с системами управления реляционными базами данных и др.

Программа **ArcGIS ArcView** разработана фирмой ESRI, Inc. (США). ArcView – мощное средство для управления, отображения и анализа пространственной информации. Может использоваться как самостоятельный настольный ГИС-пакет, а также как клиентское приложение в системе ArcGIS.

ArcView состоит из трех базовых модулей: ArcMap – отображение, редактирование и анализ данных, создание карт; ArcCatalog – доступ к данным и управление ими; ArcToolbox – инструменты управления проекциями и конвертации данных.

Среди дополнительных модулей следует выделить:

– ArcGIS Spatial Analyst – программный модуль для работы с растровыми поверхностями, позволяющий анализировать характеристики поверхности, а также интерполировать пространственно распределенные данные для визуализации и анализа процессов;

– ArcGIS 3D Analyst – программа для создания, визуализации и анализа трехмерных объектов и поверхностей.

GeoMedia Professional разработана фирмой Intergraph Corp. (США) [31, 76, 113]. Это универсальный ГИС-клиент, позволяющий напрямую подключаться и работать с геоинформационными БД большинства индустриальных форматов, эффективно интегрируя геоданные в единую информационную систему.

С помощью GeoMedia можно осуществлять ввод и проверку корректности данных, делать запросы, создавать тематические карты и легенды, выполнять сложные аналитические процедуры. Средства анализа в GeoMedia позволяют превращать геометрические объекты в тематические, отбирать те или иные тематические объекты, а также интегрировать в ГИС растровые изображения и объекты мультимедиа.

GeoGraph является одним из программных продуктов ГИС, разработанных Центром геоинформационных исследований Института географии РАН [32, 33]. Он предназначен для конечных пользователей ГИС и дает возможность создавать электронные тематические атласы и композиции карт на основе слоев цифровых карт и связанных с ними таблиц атрибутивных данных. В GeoGraph удачно сочетаются средства управления картографическими композициями и анализа графических и атрибутивных данных. Среди основных возможностей GeoGraph можно выделить следующие:

– создание непосредственно в GeoGraph пространственных объектов (точечных, линейных, полигональных) в виде косметических слоев с привязкой к ним таблиц атрибутивных данных (включая копирование в косметический слой выбранных объектов из слоев других форматов), что обеспечивает решение различных задач (например, формирование слоя оперативной ситуации в водопроводной сети и его передачу в режиме удаленного доступа и др.);

– создание и связывание со слоями цифровых карт множества таблиц, форм для вывода информации об объектах, запросов, макросов, тем, селекции и графиков;

– поиск информации, выборки объектов по карте или базе данных с отображением результатов поиска и выборки;

– электронное тематическое картографирование (классификация объектов, выбор существующих и создание новых графических переменных для классов, отображение тематических карт);

– измерения площадей, расстояний по карте с учетом картографической проекции, получение текущей информации о географических координатах.

GeoLink, разработчиком которой является АОЗТ «СП Геолинк», представляет собой полнофункциональную географическую информационную систему, включающую инструментальные средства, дающие пользователю возможность создавать собственные приложения, работающие в среде GeoLink [32]. Система позволяет решать гидрогеологические, справочно-информационные, картографические, статистические задачи, задачи экологического мониторинга, моделирования поверхностей и др. Система GeoLink 2.0 обеспечивает:

– построение произвольных планшетов с использованием различных систем координат и проекций, включая:

а) построение стандартного номенклатурного разбиения топографических карт в диапазоне масштабов 1:5000 – 1:1 000 000 на территории России;

б) трансформацию любых координат проекций в географические, и наоборот;

в) возможность работы с географическими и прямоугольными координатами;

– анализ качества вводимой географической информации;

– построение топологических связей между всеми объектами географической базы независимо от принадлежности к слою и типа объектов;

– ведение и анализ базы атрибутивных данных;

– анализ пространственно распределенных данных (данные, заданные на сетке).

GeoLink является единственной в нашей стране ГИС, разработанной для решения гидрогеологических и водохозяйственных задач. Вместе с тем система полностью выполняет все функции ГИС общего назначения и может использоваться в любой области знаний.

Среди специализированных ГИС, в первую очередь нужно отметить такие программные продукты, как:

- Zone, «Эколог» – для решения экологических задач;

- CAD-CREDO – для проектирования автомобильных дорог;
- Ибис-Лесхоз – для управления лесным хозяйством;
- MIKE SHE, MIKE11, MOUSE – для решения задач гидрологии и гидрогеологии;
- CSI-Track – для мониторинга за подвижными объектами);
- GeoCad Systems – для ведения земельного и градостроительного кадастра.

Надо отметить, что с импортными разработками программного обеспечения в области ГИС и моделирования инженерных сетей успешно конкурируют отечественные системы [32]. Предприятия-разработчики отраслевого программного обеспечения – Центр системных исследований «Интегро», «Политерм», «Самара-Информспутник», «ИндорСофт» и др. В качестве примера применения таких ГИС в масштабе города приведем информационно-картографическую систему (ИКС) г. Долгопрудного **ИКС «Долгопрудный»**. Разработкой и внедрением системы занимается МФТИ по договорам с предприятиями и администрацией г. Долгопрудного.

Сегодня ИКС «Долгопрудный» используется в следующих организациях и подразделениях администрации города:

– Администрация города – ведение ИКС «Благоустройство» по придомовым и закрепленным благоустраиваемым территориям; подготовка и предоставление выкопировок по закрепленным благоустраиваемым территориям; издание планировочных решений и паспортов благоустройства;

– МУП «Инженерные сети» – ведение схемы сетей водоснабжения, канализации и теплоснабжения; проектирование, паспортизация сетей, согласование технических условий; – внедрение системы гидравлических и тепло-гидравлических расчетов водопроводных и тепловых городских сетей.

Использование базовой конфигурации ГИС «[AVASSO Экспедитор](#)» [32] предприятиями КХ, осуществляющими вывоз мусора, уборку улиц, ремонт и эксплуатацию тепло- (электро-)сетей, газопроводов и др. позволяет:

– вести справочник парка транспортных средств (средств спецтехники), справочник типов транспортных средств, включающий нормативные расходы ГСМ, справочник сотрудников, справочник бортовых устройств навигации;

– вести журналы по эксплуатации транспортных средств;

– вести базу данных обслуживаемых объектов с нанесением их на электронную карту;

– вести базу данных нормативных маршрутов (для регулярных поездок);

– осуществлять быстрый поиск по карте необходимого объекта, получать пространственные выборки (по зонам обслуживания, по близости к нужному объекту и др.);

– контролировать перемещение транспортного средства, и вести, при необходимости, автоматический учет отклонений от нормативного маршрута.

Всем известно, как остро стоят вопросы обслуживания и содержания жилищного фонда, предоставления населению коммунальных услуг. В этой сфере деятельности предприятий и организаций Санкт-Петербурга большую роль играет деятельность различных аварийно-диспетчерских служб. Комплексная автоматизация их работы позволит более качественно решать задачи КХ. В настоящее время аварийно-диспетчерские службы жилищных организаций не обладают необходимым современным инструментом автоматизации своих функций. Для обеспечения комплексной автоматизации таких служб КХ ОАО «Центр компьютерных разработок» уже сегодня предлагает программно-технический комплекс дежурно-диспетчерских служб, состоящий из подсистем:

• учета и обработки информации по обращениям граждан и организаций. Обеспечивает автоматизацию учета и организацию контроля исполнения обращений граждан и организаций по вопросам обслуживания жилищного фонда и состоянию инженерных сетей, поступающих в жилищные организации города;

• информационного взаимодействия. Обеспечивает организацию формализованного обмена информацией между жилищными организациями, администрациями районов об обращениях граждан и состоянии инженерных сетей;

• информационной поддержки деятельности дежурно-диспетчерских служб. Обеспечивает предоставление и поддержание в актуальном состоянии учетно-справочной и картографической информации по объектам адресной системы, предприятиям и организациям, арендаторам в зоне ответственности обслуживающей организации.

Технологии работы с картографической информацией позволяют разрабатывать и использовать в диспетчерских службах картографические слои инженерных сетей, позволяющие организовывать анализ аварийных ситуаций и планировать профилактические мероприятия по эксплуатации инженерных сетей.

Муниципальная геоинформационная система (МГИС) – это программно-аппаратный комплекс, решающий совокупность задач по хранению, отображению, обновлению и анализу пространственной и атрибутивной информации по объектам городской территории. Внедрение МГИС позволяет создать единую топографически корректную карту городской территории на основе всего многообразия имеющегося материала. Дальнейшее внедрение информационных систем может идти по пути автоматизации других сфер деятельности. В случае муниципалитетов – это создание автоматизированной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности (АИСОГД) или ведения имущественного кадастра, в случае КХ – автоматизация расчетов с потребителями.

Программный комплекс СФЕРА разработан на основе геоинформационных технологий специально для предприятий, эксплуатирующих инженерные сети для создания информационно-технологических систем [32, 33]. Комплекс создает электронную топооснову городов и населенных пунктов, наносит инженерные сети и сооружения на них, привязывает к этим объектам любую атрибутивную информацию. При этом можно создавать как точные карты, так и внесмасштабные оперативные технологические схемы. Использование системы СФЕРА можно получить:

- единую базу данных инженерных сетей и технологического оборудования на электронной карте;
- электронные паспорта инженерных сетей и объектов;
- доступ всех отделов и служб предприятия к непротиворечивой, достоверной информации;
- обеспечение руководства оперативной информацией для принятия решений;
- формирование справок, отчетов, паспортов, графической информации в любой необходимой форме;
- снижение трудозатрат на разработку проектов новых участков сетей, при значительном сокращении сроков проектирования;
- сокращение срока выдачи технических условий на подключение потребителя и согласований на разрытие грунта;
- обеспечение муниципальных властей объективной информацией о состоянии инженерных сетей города и добавление ее в автоматизированный кадастр региона.

В 1996 – 1999 гг. ФГУП ВИОГЕМ в рамках реализации проекта «Электронная карта инженерных сетей и транспортных коммуникаций г. Белгорода» разработал на базе авторского интегрированного программного пакета геолого-маркшейдерского назначения геоинформационный пакет «БелГИС» [33]. В дальнейшем этот пакет постоянно совершенствовался с расширением его функциональных возможностей.

Созданная с применением «БелГИС» электронная карта г. Белгорода состоит из нескольких слоев (рельеф, кварталы, магистрали, здания, гидросеть, лесные массивы и т.д.), что позволяет генерализовать информацию и отображать только ту нагрузку, которая необходима для той или иной цели. Для служб быстрого реагирования (МВД, ГИБДД, ГО и ЧС, скорая помощь, пожарные службы, аварийно-ремонтные службы КХ) создан прикладной ГИС-модуль на основе электронной карты города, который позволяет не только принять и упорядочить поступление заявок, но и делать их анализ, распределять по различным службам.

Программный пакет БелГИС позволяет также производить обработку материалов дистанционного зондирования Земли (космических снимков и аэрофотоснимков), создавать на их основе цифровые модели местности и топографические карты различного масштаба.

Таким образом, «БелГИС» является универсальной ГИС, которая может использоваться в различных проблемных областях. Использование программного обеспечения «БелГИС» в комитетах по земельным ресурсам и землеустройству Белгородской области и города Белгорода, в управлении архитектуры и градостроительства г. Белгорода и г. Губкина, МУП Гортеплосети, Белгородоблгаз позволило оптимизировать информационно-аналитическую деятельность сотрудников, существенно повысило эффективность управления и планирования, упростило создание текущей отчетности.

Как было отмечено выше, управление любым территориальным образованием невозможно без качественного информационного обеспечения. Для планирования развития городских территорий, инженерных сетей и коммуникаций крупных и градообразующих предприятий различных отраслей хозяйст-

ва, оперативного управления ресурсами и всеми аспектами жизни городов и промышленных комплексов необходима единая система сбора, хранения, обработки и передачи разнообразной информации с ее пространственной привязкой. Использование электронной карты позволяет осуществлять просмотр инженерных сетей на местности, работу с технологическими схемами коммуникаций, учет местоположения и контроль текущего состояния технологического оборудования, оперативное принятие решений в аварийных ситуациях, поиск подъездных путей и маршрутов эвакуации, подготовку согласований между различными муниципальными службами.

Анализ литературных источников, приведенный выше, позволяет сделать следующие выводы.

Решений по автоматизации всего комплекса задач КХ на основе системного подхода пока на рынке нет. Появляются единичные разработки информационной поддержки жизненного цикла инфраструктуры, так называемые ИПИИ-системы отдельных объектов, которые призваны автоматизировать в большей степени инженерную сторону вопроса. Это, конечно, актуально и важно. Но информационная система КХ (ИС КХ) должна создаваться как элемент, интегрированный с ИС муниципального образования (МИС – муниципальная информационная система).

Переход жилищно-коммунальных предприятий из планово-убыточных в рентабельные должен достигаться не только посредством повышения тарифов до уровня полного возмещения себестоимости услуг населением, но и преобразований системы управления, которые должны обеспечить децентрализацию функций текущего менеджмента, в том числе финансового, при закреплении за руководителями верхнего уровня функций преимущественно стратегического менеджмента; ориентацию управленческой деятельности на обеспечение удовлетворительных финансовых результатов и финансового состояния; смещение акцента с последующего контроля на предварительный и оперативный. Данные преобразования требуют использования новых подходов к информационному обеспечению процесса принятия управленческих решений. Информационная база менеджмента организаций жилищно-коммунального хозяйства на сегодняшний момент не в полной мере соответствует требованиям современного управления. Вышесказанное определяет научный и практический интерес к исследованию проблемы внедрения на предприятиях жилищно-коммунального сектора системы управления процессами доставки энергоносителей населению.

К сожалению, государственными программами реформирования КХ страны не предусмотрено финансирование централизованного внедрения информационных технологий. Таким образом, у госструктур отсутствует заинтересованность внедрять существующие АИС учета, контроля и управления деятельности КХ, поэтому на рынке нет крупных заказчиков на такие работы.

Без внедрения специализированных информационных систем реформа КХ невозможна, поскольку только с их помощью можно собрать полную информацию об отрасли, реальных потерях энергии при доставке потребителю, адекватно оценить уровень потребления, например, холодной воды и тепловой энергии.

Основной задачей информационных систем в настоящее время является сбор подробной и достоверной информации о состоянии отрасли. По словам заместителя начальника управления программ КХ Федерального агентства по строительству и коммунальному хозяйству В. Жданова [102], на сегодняшний день никто не знает реального состояния жилищно-коммунального хозяйства страны. Между тем, только имея на руках объективную картину того, что происходит в отрасли, можно будет приступить к разработке долгосрочной эффективной программы ее реформирования и дальнейшего развития.

Коммунальное хозяйство России никогда не было эффективным ни в управленческом, ни в инженерном отношении. По некоторым оценкам, прибыльность этой сферы деятельности на сегодняшний день составляет минус 2 %. Необходимые капиталовложения оцениваются в 140 млрд. долларов, из которых 50 – 60 млрд. необходимо потратить на внедрение новых технологий и модернизацию отрасли.

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать основные цели и задачи информатизации муниципального образования (города, населенного пункта), неотъемлемой частью которого являются коммунальные системы.

Информатизация муниципального образования должна осуществляться с учетом федеральной целевой программы «Электронная Россия» [110].

В частности в рамках этой программы многими структурными подразделениями органов регионального и муниципального управления решаются задачи, направленные на повышение эффективности управления всеми звеньями муниципального и регионального хозяйства; совершенствование системы

информирования и предоставления услуг населению. Для их решения необходимо: создание единого информационного пространства (ЕИП) каждого муниципального образования региона; разработка программных комплексов приложений (расчетных, аналитических и т.д.) по соответствующим направлениям деятельности, функционирующих в среде ЕИП; обеспечение защиты, управления и развития ЕИП.

В первую очередь геоинформационные технологии целесообразно использовать для информационной поддержки процессов:

1) *управления городским жилищным и коммунальным хозяйством.*

- ведения городских кадастров жилого и нежилого фонда;
- ведения городских кадастров тепловых сетей;
- ведения городских кадастров водопроводных и канализационных сетей;
- ведения городских кадастров электрических сетей;
- формирования муниципального заказа на строительство и реконструкцию инженерных сетей и организацию контроля его исполнения;
- поддержки принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций на объектах коммунального хозяйства города;

2) *градостроительства и землепользования.*

- поддержки системы ведения городских кадастров;
- ведения земельных кадастров;
- предоставления земельных участков;
- ведения базы данных по использованию земельных ресурсов муниципального образования (города);
- ведения генерального плана (схемы развития) города;
- планирования капитального строительства и контроля исполнения;
- разработки планов оптимального использования земельных ресурсов.

3) *управления городским транспортом и благоустройством.*

- ведения городских кадастров улично-дорожной сети;
- формирования и организацию контроля исполнения комплексной экологической программы территории города;
- ведения картографической базы данных природоохранных и экологически вредных объектов;
- формирования муниципального заказа на перевозку пассажиров и организацию контроля его исполнения;
- другие задачи, для решения которых используются пространственные данные объектов, размещенных на территории муниципального образования.

Для визуализации ЕИП и моделирования процессов, протекающих в объектах различного назначения, необходимо создание цифровой пространственной модели территории. Трехмерная модель необходима для решения задач в области территориальной организации; упрощает осуществление функций органов управления; позволяет моделировать сложные процессы, т.е. возможность визуализации различных явлений, процессов и объектов. При ее создании в масштабе муниципального образования (города или другого населенного пункта) целесообразно для описания объектов различного назначения использовать растровые и векторные модели данных. При этом растровая модель, полученная в результате сканирования планшетов планов территории (обычно масштаба 1:500) используется в качестве первичных данных всего информационного массива сведений обо всех ее объектах (для г. Тамбова размер планшета составляет ~ 20 × 30 м).

При создании модели территории в качестве базовой информационной системы целесообразно использовать ГИС, имеющую средства трехмерного моделирования. Объекты различного назначения представляются в виде совокупностей тематических слоев и связанных с ними атрибутивными данными. При этом фрагменты модели или ее отдельные объекты могут иметь и фотореалистичные изображения.

Для создания ЕИП муниципального образования и решения вышеперечисленных задач целесообразно использовать базовое программное обеспечение системы ArcGIS корпорации ESRI (США), как наиболее полно отвечающей требованиям муниципальных ГИС и динамично развивающейся в настоящее время.

Создание ЕИП муниципального образования (на примере г. Тамбова) с использованием геоинформационных технологий, способствующих экономии труда в сфере управления, обеспечит повышение

эффективности принимаемых решений за счет доступа к достоверной и полной информации, ее быстрой обработке и немедленного доведения принятых решений до всех заинтересованных лиц, организации выработки согласованных решений участниками переговоров различной ведомственной подчиненности по территориально распределенным объектам.

Моделирование режимов работы водопроводных, тепловых, электрических и газовых сетей позволяет подобрать оптимальные режимы работы сети (сопла элеваторов, дроссельные шайбы, марки и режимы работы насосов, диаметры трубопроводов, марки кабеля и трансформаторов), что обеспечивает значительный экономический эффект от мероприятий по наладке режима работы сети (10 – 20 %) [102].

Из всевозможных проблем, возникающих на пути создания и внедрения геоинформационных систем в масштабе муниципального образования, отметим, на наш взгляд, основные:

1. Очевидная и неизбежная проблема неполноты, недостоверности и неактуальности имеющихся данных. Здесь отметим только то, что любая имеющаяся информация о территории, объектах и сетях – космическая съемка, топографическая съемка на весь город, предпроектные, исполнительные съемки или схемы на отдельные объекты или участки – может быть использована для создания единой топографической основы. Сам процесс внедрения системы служит поводом и инструментом инвентаризации и классификации имеющихся материалов, выбора из всех имеющихся наиболее достоверных, актуальных и полных. На этапе внедрения системы эти материалы могут служить базисом единой топографической основы. На этапе эксплуатации и развития системы надо планировать непрерывное повышение достоверности, актуальности и полноты данных, например, по материалам космосъемки, предпроектной, исполнительной съемки на территориях новостроек и реконструкций.

2. На уровне муниципального образования существенной проблемой является межведомственная разобщенность и нежелание предоставлять имеющуюся информацию. Например, предприятия, отделы и службы, подчиненные разным ведомствам бывают не склонны предоставлять информацию смежникам. Для решения этой проблемы необходимо понимание администрацией муниципального образования необходимости создания единой (распределенной) системы и наличие организации (уполномоченной службы), которая убедит (заинтересует, скоординирует действия) основных держателей данных в эффективности обмена данными со смежниками, составит, утвердит в администрации и реализует эффективные регламенты использования единой распределенной базы данных в масштабах муниципального образования.

В связи с тем, что в данной работе внимание уделено разработке элементов АИС поддержки принятия при организации деятельности служб, обеспечивающих доставку энергоносителей потребителям, в частности водоснабжения, то необходимо разработать модель информационного объекта трубопроводной системы, представленную в виде графовой структуры фреймов и включающую сведения о составе, свойствах системы и ее элементах, а также способах задания этих свойств, позволяющую систематизировать всю информацию о реальном физическом объекте, упорядочить ее хранение на электронных носителях и обеспечить эффективную обработку.

При создании подсистем принятия решений приведенных выше задач необходимо также разработать:

– информационно-логическую модель поддержки принятия решений организации деятельности службы, обеспечивающей режимы нормального функционирования водопроводных систем, отображающую данные предметной области в виде совокупностей информационных объектов и связей между ними с использованием продукционных правил;

– процедурную модель АИС поддержки принятия решений при выборе элемента сложного технического объекта исходя из известных потребительско-эксплуатационных показателей и их оценок, выполненных различными группами экспертов с применением теории нечетких множеств.

2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИНЖЕНЕРНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ

2.1. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ИНЖЕНЕРНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При изучении информационных процессов, реализуемых при управлении региональными коммунальными системами, объединяющими водопроводные, канализационные, электрические, тепловые, газовые сети и функционирующими как единый «орган» жизнеобеспечения населения муниципального образования, нами был сделан вывод о том, что всю совокупность задач, решаемых на разных этапах принятия решений, нужно рассматривать с позиций теории сложных систем [58, 60, 64, 119]. Такие системы состоят из отдельных подсистем, каждая из которых решает свою собственную задачу управления. При выборе любого закона управления решаются три основные задачи: получение информации об управляемом объекте, преобразование ее с целью синтеза закона управления и выдача ее на объект, при этом каждая из подсистем обладает правом принятия решения. Следует отметить, что разбиение сложной системы принятия решения на подсистемы обуславливается большой размерностью таких систем и вытекающими из этого трудностями, связанными со сбором и обработкой информации об их состоянии при выборе управляющих воздействий. Необходимость построения системы управления сложным объектом по иерархическому принципу всегда требует проведения дополнительных исследований, так как для некоторых систем она нецелесообразна, а для других без введения такой структуры система управления не может функционировать.

Использование теории сложных систем наиболее оправданно для систем управления со следующими характерными признаками [60, 64]:

- решение каждой из подсистем, кроме подсистем первого уровня, двух задач по своим локальным критериям оптимальности: задачи самоуправления и задачи координации подчиненными ей подсистемами нижнего уровня;
- наличие приоритета в принятии решения между подсистемами, входящими в состав сложной системы;
- осуществление связи подсистем нижнего уровня с подсистемами верхних по отношению к ним уровней путем передачи предварительно обобщенной информации;
- осуществление связи подсистем верхних уровней с подчиненными им подсистемами нижнего уровня через управляющие воздействия, выдаваемые подсистемами верхних уровней;
- расположение подсистем с явно выраженными локальными свойствами по уровням иерархии в соответствии с приоритетом принимаемых ими решений, причем подсистемы одного уровня по отношению друг к другу обладают одинаковым приоритетом в выборе решений;
- осуществление связи между подсистемами одного уровня как непосредственно через выходные переменные, описывающие их состояние, так и через управляющие воздействия, вырабатываемые при решении задачи координации в подсистеме верхнего уровня.

В большинстве случаев для иерархических систем каждая из подсистем, входящих в ее состав, имеет свои критерии оптимальности. Если даже вся иерархическая система в целом функционирует для достижения какой-либо одной цели, отдельные подсистемы могут не достигать оптимальных значений своих локальных критериев. Это означает, что локальные цели подсистем вовсе не обязательно должны быть согласованы с целью всей системы.

При построении систем поддержки принятия решений по управлению региональными коммунальными системами применение иерархической структуры обосновано тем, что:

- во-первых, иерархическая структура управления допускает описание подсистем с учетом различных аспектов: физических, химических, экономических и т.д., т.е. допускает их описание на различных уровнях абстракции;
- во-вторых, достаточно сложные системы, состоящие из объектов различной природы, большой размерности, различной инерционности, не смогут функционировать без разделения функций принятия решений, т.е. без введения иерархической структуры [60, 64].

Весь комплекс задач, решаемых при управлении региональными коммунальными системами образует многоуровневую структуру, состоящую из последовательности подсистем, объединенных информационными потоками. Результатом решения всего комплекса задач является перечень мероприятий, направленных на обеспечение нормального функционирования коммунальных систем, в частности: оперативного диспетчерского управления; оперативного реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации; обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ; мониторинга состояния сетей и предотвращения аварийных ситуаций и т.д.

Рассмотрим структуру построения иерархической системы поддержки принятия решений, обеспечивающих оптимальные варианты управленческих решений на примере Тамбовских региональных коммунальных систем, являющихся характерными для многих регионов Российской Федерации.

Обозначим общую задачу управления региональными коммунальными системами через Z_n (рис. 2.1). Эта задача включает в себя множество особенно значимых локальных задач:

- оперативного диспетчерского управления в нормальном режиме эксплуатации;
- оперативного реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации, в том числе внешние по отношению к данной конкретной сети;
- инвентаризации объектов распределенной производственной и вспомогательной инфраструктуры соответствующих служб коммунальных систем;
- помощи в организации обслуживания клиентов и расчетов с ними за предоставляемые ресурсы (воду, газ, электроэнергию и т.д.);
- анализа деятельности предприятия и качества обслуживания потребителя;
- обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ;
- мониторинга состояния сетей и предотвращения аварийных ситуаций;
- конкретного развития и проектирования инженерных сетей;
- стратегического планирования, прогнозирования и выявления потребностей в развитии инженерных сетей.

При решении каждой из них приходится решать целый ряд более мелких задач. Комплексное решение всех задач, направленное на получение решения задачи Z_n , требует создания сложной иерархической системы управления, в которую кроме перечисленных задач входят задачи межуровневой координации и задачи, обеспечивающие получение решения в приемлемые сроки.

Сформулируем задачу управления региональными коммунальными системами Z_n математически. Пусть: X – множество всех возможных вариантов:

- принятия решений диспетчерского управления для обеспечения нормальных режимов эксплуатации отдельных сетей;
 - принятия решений оперативного реагирования на аварийные ситуации;
 - организации обслуживания потребителей и расчетов с ними за предоставляемые ресурсы (воду, тепло, электроэнергию и т.д.);
 - планов конкретного развития и проектирования (реконструкции) инженерных сетей;
- R – множество вариантов принятия управленческих решений;

V – множество технико-экономических оценок целесообразности принятия решений по управлению отдельными коммуникациями, отвечающих всем эксплуатационным требованиям.

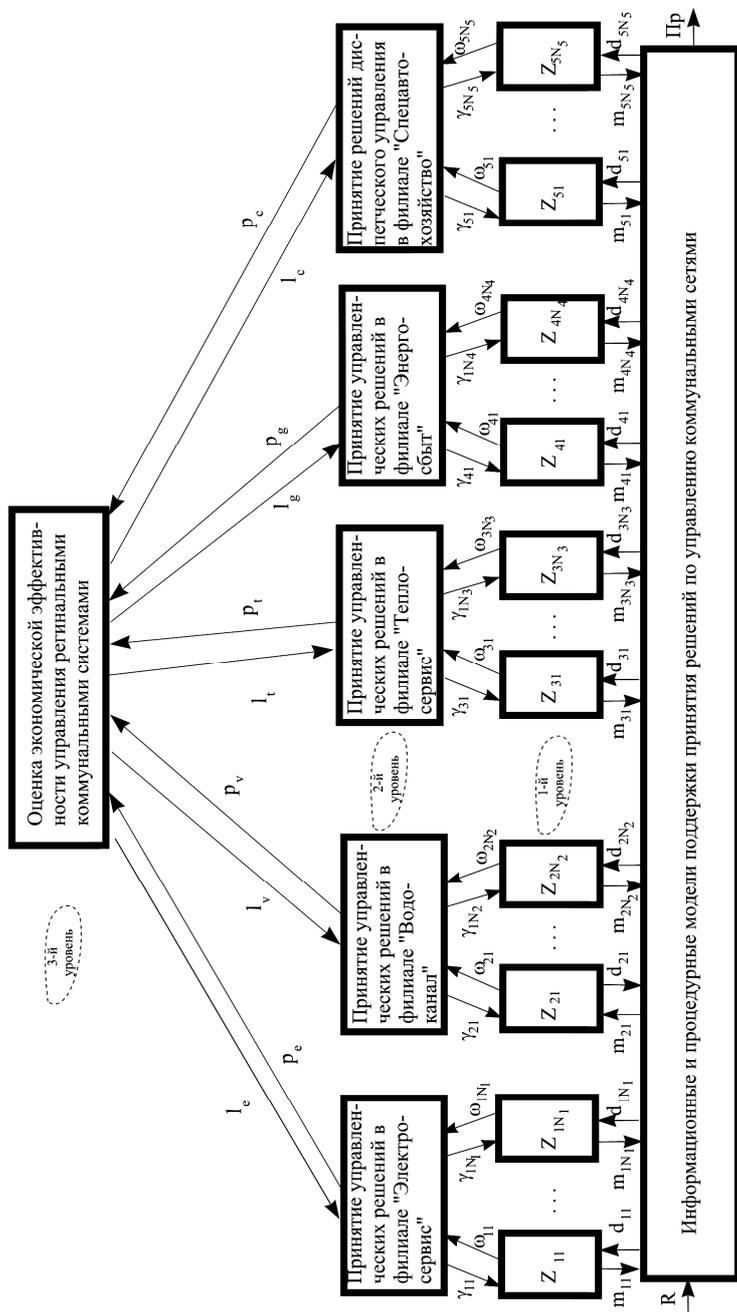


Рис. 2.1. Структурная схема подзадач, решаемых АИС, при управлении коммунальными системами

Введем функцию F эффективности выбора варианта решения задачи управления с учетом его физической реализуемости как отображение декартова произведения $X \times R$ в множестве оценок, т.е.

$$F: X \times R \rightarrow V. \quad (2.1)$$

Задача Z_n характеризуется набором (X, R, F) . Элемент x^* из X , удовлетворяющий (2.1), является решением задачи Z_n и характеризуется предикатом $P(x^*, Z_n)$

$$P(x^*, Z_n) \equiv (x^* \text{ есть решение } Z_n). \quad (2.2)$$

Аналогично обозначим задачи принятия решений по управлению отдельными видами коммуникаций соответственно: водопроводными и канализационными сетями – через Z_v , электрическими сетями – через Z_e , тепловыми сетями – через Z_t ; газовыми сетями – через Z_g , транспортными маршрутами – через Z_c . Будем характеризовать задачи Z_e, Z_v, Z_t, Z_g и Z_c наборами $(X_e, R_e, F_e), (X_v, R_v, F_v), (X_t, R_t, F_t), (X_g, R_g, F_g)$ и (X_c, R_c, F_c) . В практически важных случаях можно считать $X = X_e \times X_v \times X_t \times X_g \times X_c, R = R_e \times R_v \times R_t \times R_g \times R_c$ и рассматривать задачу Z_e как сужение задачи Z_n на мно-

жестве X_e , Z_v как сужение Z_n на множестве X_v , Z_t как сужение Z_n на множестве X_t , Z_g как сужение Z_n на множестве X_g , а Z_c как сужение Z_n на множестве X_c , при этом $x^* = (x_e, x_v, x_t, x_g, x_c)$.

Отдельные задачи управления определенными видами коммуникаций Z_{ij} ($i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5$), также могут быть сформулированы в виде (2.1) и охарактеризованы наборами $(X_{ij}, R_{ij}, F_{ij}, Q_{ij})$. Для них, как и для задач Z_e , Z_v , Z_t , Z_g и Z_c , имеет место условие (2.2). Общее число задач Z_{ij} равно $N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5$.

Например, в качестве задач Z_{2j} , $j \in N_2$ можно выделить задачи принятия решений при: определении расходов воды отдельным группам потребителей; расчете характеристик отдельных участков водопроводной сети; выборе элементов трубопроводной сети (насосов, запорной и регулирующей арматуры, марок материала труб и т.д.); определении мероприятий при оперативном реагировании на аварийные ситуации, возникающие на участках водопроводной сети, и другие задачи.

Обозначим вектором $S_v = (x_{21}, \dots, x_{2N_2})$ совокупность решений задач Z_{2j} , $j = \overline{1, N_2}$. Очевидно, что при определении S_v будут определены $x_v \in X_v$, и этот факт будем характеризовать оператором Θ_v :

$$x_v = \Theta_v(S_v). \quad (2.3)$$

Аналогичные рассуждения будут иметь место и при определении локальных задач в задачах принятия решений по управлению и другими видами коммуникаций.

Используя введенные обозначения, формализуем основные принципы, используемые для поддержки принятия управленческих решений для коммунальных систем.

Выбор варианта принятия решения при управлении коммунальными системами осуществляются исходя из максимального удовлетворения потребителей энергоресурсами (водой, теплом, электричеством и газом). Другими словами – при решении задач Z_e , Z_v , Z_t , Z_g и Z_c должен формироваться вектор S_n , который порождает бы решение задачи Z_n , сводящей к минимуму затраты на доставку различных видов энергии потребителям при высокой эффективности и надежности эксплуатируемых коммунальных сетей.

В свою очередь, при решении задач нижестоящего уровня, например, задач Z_{2j} , $j = \overline{1, N_2}$ должен формироваться вектор S_v , который порождает бы решение задачи Z_v . В формализованном виде это можно записать так:

$$\exists (Z_{2j}, x_{2j}, j = \overline{1, N_2}) : P(x_{2j}, Z_{2j}) \Rightarrow P(x_v, Z_v) \begin{cases} x_v = \Theta_v(S_v) \\ S_v = (x_{21}, \dots, x_{2N_2}) \end{cases}. \quad (2.4)$$

Более частым является достижение экстремума некоторой целевой функции F_v , определенной на множестве $H_v = \{x_v | P(x_v, Z_v)\}$ решений задачи Z_v . В этом случае вместо (2.4) имеем:

$$\begin{aligned} & \exists (Z_{2j}, x_{2j}, j = \overline{1, N_2}) : P(x_{2j}, Z_{2j}) \Rightarrow \\ & \exists (S_v^* = (x_{21}^*, \dots, x_{2N_2}^*), x_{2j}^* = \{x_{2j}\}, j = \overline{1, N_2}) . \quad (2.5) \\ & : F_v(\Theta_v(S_v^*)) = \text{extr}_{x \in H_v} F_v(x_v). \end{aligned}$$

Условия, аналогичные (2.4) и (2.5), имеют место и в задачах Z_e , Z_t , Z_g , Z_c .

Решение задач управления коммунальными системами должно вестись с принципами общей теории систем [13, 60, 64], т.е. автоматизированная информационная система поддержки принятия решений по управлению сетями должна удовлетворять принципам иерархичности структуры, координации локальных задач относительно задач вышестоящего уровня, совместимости и модифицируемости.

Иерархичность структуры. В терминах теории систем систему Θ управления коммунальными системами можно представить как отношение на декартовом произведении множеств [58]:

$$\begin{aligned}
& \Theta \subset R \times M_e \times M_v \times M_t \times M_g \times M_c \times D_e \times D_v \times D_t \times D_g \times D_c \times W_e \times W_v \times \\
& \times W_t \times W_g \times W_c \times \Gamma_e \times \Gamma_v \times \Gamma_t \times \Gamma_g \times \Gamma_c \times L_e \times L_v \times L_t \times L_g \times L_c \times \\
& \times \tilde{P}_e \times \tilde{P}_v \times \tilde{P}_t \times \tilde{P}_g \times \tilde{P}_c \times \{ \times Z_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times Z_{2j} | j \in N_2 \} \times \\
& \times \{ \times Z_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \times Z_{4j} | j \in N_4 \} \times \{ \times Z_{5j} | j \in N_5 \} \times \{ \Theta_e \} \times \{ \Theta_v \} \times \{ \Theta_t \} \times \{ \Theta_g \} \times \{ \Theta_c \} \times \\
& \times \{ Z_n \} \times \{ \times \Theta'_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Theta'_{2j} | j \in N_2 \} \times \{ \times \Theta'_{3j} | j \in N_3 \} \times \\
& \times \{ \times \Theta'_{4j} | j \in N_4 \} \times \{ \times \Theta'_{5j} | j \in N_5 \} \times \{ \times \Theta''_{1j} | j \in N_1 \} \times \{ \times \Theta''_{2j} | j \in N_2 \} \times \\
& \times \{ \times \Theta''_{3j} | j \in N_3 \} \times \{ \times \Theta''_{4j} | j \in N_4 \} \times \{ \times \Theta''_{5j} | j \in N_5 \} \times \{ \Theta_e \} \times \{ \Theta_v \} \times \{ \Theta_t \} \times \\
& \times \{ \Theta_g \} \times \{ \Theta_c \} \times \{ \text{Пу} \} \times \{ \text{Пр} \}
\end{aligned} \tag{2.6}$$

где {Пр} – множество решений задачи управления региональными коммунальными системами; {Пу} – множества операторов (множества математических моделей нижнего уровня: информационно-логических и процедурных моделей поддержки принятия решений при управлении отдельными видами сетей и т.п.); M_e, M_v, M_t, M_g, M_c – множества управляющих сигналов для процесса принятия решений при управлении водопроводными, электрическими, тепловыми, газовыми сетями; принятия мер к срочной ликвидации аварий, в том числе и выбора маршрутов для специального автотранспорта при их ликвидации и др.; $D_e, D_v, D_t, D_g, D_c, W_e, W_v, W_t, W_g, W_c, P_e, P_v, P_t, P_g, P_c$ – множества информационных сигналов о решении локальных задач, например, данные гидравлического режима водопроводной и канализационной сетей; режимов работы линий электропередач; планов проведения предупредительных и капитальных ремонтов; данные о поступлении в конкретную сеть энергоносителей и отпуска их потребителям; $\Gamma_e, \Gamma_v, \Gamma_t, \Gamma_g, \Gamma_c, L_e, L_v, L_t, L_g, L_c$ – множества координирующих сигналов для локальных задач нижестоящих уровней, например, планы объемов доставки энергоносителей (воды, тепла, газа и т.д.) потребителям, необходимые технические и материальные условия по выполнению проектных, планово-предупредительных работ и др.

$$\begin{aligned}
M_e &= \{ \times M_{1j} | M_{1j} = \{ m_{1j} \}, j \in N_1 \}; & D_e &= \{ \times D_{1j} | D_{1j} = \{ d_{1j} \}, j \in N_1 \}; \\
M_t &= \{ \times M_{3j} | M_{3j} = \{ m_{3j} \}, j \in N_3 \}; & D_t &= \{ \times D_{3j} | D_{3j} = \{ d_{3j} \}, j \in N_3 \}; \\
M_c &= \{ \times M_{5j} | M_{5j} = \{ m_{5j} \}, j \in N_5 \}; & D_c &= \{ \times D_{5j} | D_{5j} = \{ d_{5j} \}, j \in N_5 \}; \\
M_v &= \{ \times M_{2j} | M_{2j} = \{ m_{2j} \}, j \in N_2 \}; & D_v &= \{ \times D_{2j} | D_{2j} = \{ d_{2j} \}, j \in N_2 \}; \\
M_g &= \{ \times M_{4j} | M_{4j} = \{ m_{4j} \}, j \in N_4 \}; & D_g &= \{ \times D_{4j} | D_{4j} = \{ d_{4j} \}, j \in N_4 \}; \\
W_e &= \{ \times W_{1j} | W_{1j} = \{ w_{1j} \}, j \in N_1 \}; & \Gamma_e &= \{ \times \Gamma_{1j} | \Gamma_{1j} = \{ \gamma_{1j} \}, j \in N_1 \}; \\
W_t &= \{ \times W_{3j} | W_{3j} = \{ w_{3j} \}, j \in N_3 \}; & \Gamma_t &= \{ \times \Gamma_{3j} | \Gamma_{3j} = \{ \gamma_{3j} \}, j \in N_3 \}; \\
W_c &= \{ \times W_{5j} | W_{5j} = \{ w_{5j} \}, j \in N_5 \}; & \Gamma_c &= \{ \times \Gamma_{5j} | \Gamma_{5j} = \{ \gamma_{5j} \}, j \in N_5 \}; \\
W_v &= \{ \times W_{2j} | W_{2j} = \{ w_{2j} \}, j \in N_2 \}; & \Gamma_v &= \{ \times \Gamma_{2j} | \Gamma_{2j} = \{ \gamma_{2j} \}, j \in N_2 \}; \\
W_g &= \{ \times W_{4j} | W_{4j} = \{ w_{4j} \}, j \in N_4 \}; & \Gamma_g &= \{ \times \Gamma_{4j} | \Gamma_{4j} = \{ \gamma_{4j} \}, j \in N_4 \}; \\
P_e &= \{ p_e \}; & P_v &= \{ p_v \}; & P_t &= \{ p_t \}; & P_g &= \{ p_g \}; & P_c &= \{ p_c \}; \\
L_e &= \{ l_e \}; & L_v &= \{ l_v \}; & L_t &= \{ l_t \}; & L_g &= \{ l_g \}; & L_c &= \{ l_c \}.
\end{aligned}$$

Введем определения задач, решаемых в системе, следующим образом:

– для задач нижнего уровня

$$Z_{ij} : R \times \Gamma_{ij} \times D_{ij} \rightarrow M_{ij}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5;$$

– для задачи принятия управленческих решений электрическими сетями

$$Z_e : R \times L_e \times \{\times W_{1,j} | j \in N_1\} \rightarrow \{\times \Gamma_{1,j} | j \in N_1\};$$

– для задачи принятия управленческих решений водопроводными сетями

$$Z_v : R \times L_v \times \{\times W_{2,j} | j \in N_2\} \rightarrow \{\times \Gamma_{2,j} | j \in N_2\};$$

– для задачи принятия управленческих решений тепловыми сетями

$$Z_t : R \times L_t \times \{\times W_{3,j} | j \in N_3\} \rightarrow \{\times \Gamma_{3,j} | j \in N_3\};$$

– для задачи принятия управленческих решений газовыми сетями

$$Z_g : R \times L_g \times \{\times W_{4,j} | j \in N_4\} \rightarrow \{\times \Gamma_{4,j} | j \in N_4\};$$

– для задачи принятия управленческих решений при маршрутизации специального автотранспорта

$$Z_c : R \times L_c \times \{\times W_{5,j} | j \in N_5\} \rightarrow \{\times \Gamma_{5,j} | j \in N_5\};$$

– для задачи верхнего уровня

$$Z_n : R \times P_e \times P_v \times P_t \times P_g \times P_c \rightarrow L_e \times L_v \times L_t \times L_g \times L_c.$$

$$\text{П}_y : R \times M_e \times M_v \times M_t \times M_g \times M_c \rightarrow \{\text{Пр}\};$$

$\Theta'_{ij} = \{\theta'_{ij}\}$, $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5$ – множества операторов формирования информационных сигналов от процесса управления к нижнему уровню иерархической системы для задач Z_{ij}

$$\begin{aligned} \theta'_{ij} : R \times \{\times M_{1,j} | j \in N_1\} \times \{\times M_{2,j} | j \in N_2\} \times \\ \times \{\times M_{3,j} | j \in N_3\} \times \{\times M_{4,j} | j \in N_4\} \times \\ \times \{\times M_{5,j} | j \in N_5\} \rightarrow D_{ij}; \end{aligned}$$

$\Theta''_{ij} = \{\theta''_{ij}\}$, $i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$, $j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5$ – множества операторов формирования информационных сигналов от второго уровня иерархии соответственно для задач Z_{ij}

$$\begin{aligned} \theta''_{ij} : R \times \{\times D_{1,j} | j \in N_1\} \times \{\times D_{2,j} | j \in N_2\} \times \{\times D_{3,j} | j \in N_3\} \times \\ \times \{\times D_{4,j} | j \in N_4\} \times \{\times D_{5,j} | j \in N_5\} \times \{\times \Gamma_{1,j} | j \in N_1\} \times \\ \times \{\times \Gamma_{2,j} | j \in N_2\} \times \{\times \Gamma_{3,j} | j \in N_3\} \times \{\times \Gamma_{4,j} | j \in N_4\} \times \{\times \Gamma_{5,j} | j \in N_5\} \rightarrow W_{ij}. \end{aligned}$$

Аналогичным образом определяются множества операторов формирования информационных сигналов для подсистемы вышестоящего уровня.

Координируемость. В соответствии с принципами теории систем, задачи нижестоящего уровня должны быть скоординированы относительно задач вышестоящего уровня. Для формализации этого принципа переопределим операторы Z_{ij} , Z_e , Z_v , Z_t , Z_g , Z_c следующим образом:

$$\forall \gamma_{ij} \in \Gamma_{ij} : Z_{ij}(\gamma_{ij}) : R \times D_{ij} \rightarrow M_{ij}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5; \quad (2.7)$$

$$\forall I \in L_e : Z_e(I_e) : R \times \{\times W_{1,j} | j \in N_1\} \rightarrow \{\times \Gamma_{1,j} | j \in N_1\}; \quad (2.8)$$

$$\forall I_v \in L_v : Z_v(I_v) : R \times \{\times W_{2j} | j \in N_2\} \rightarrow \{\times \Gamma_{2j} | j \in N_2\}; \quad (2.9)$$

$$\forall I_t \in L_t : Z_t(I_t) : R \times \{\times W_{3j} | j \in N_3\} \rightarrow \{\times \Gamma_{3j} | j \in N_3\}; \quad (2.10)$$

$$\forall I_g \in L_g : Z_g(I_g) : R \times \{\times W_{4j} | j \in N_4\} \rightarrow \{\times \Gamma_{4j} | j \in N_4\}; \quad (2.11)$$

$$\forall I_c \in L_c : Z_c(I_c) : R \times \{\times W_{5j} | j \in N_5\} \rightarrow \{\times \Gamma_{5j} | j \in N_5\}. \quad (2.12)$$

Таким образом, согласно (2.7) – (2.12) операторы $Z_{ij}(\gamma_{ij})$, $Z_e(I_e)$, $Z_v(I_v)$, $Z_t(I_t)$, $Z_g(I_g)$, $Z_c(I_c)$ параметрически зависят от координирующих сигналов γ_{ij} , I_e , I_v , I_t , I_g , I_c , поступающих с вышестоящих уровней АИС поддержки принятия решений.

Координируемость относительно вышестоящего уровня требует, чтобы задачи верхнего уровня и множество задач нижнего уровня имели решение, т.е.:

$$\begin{aligned} & (\forall i \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \wedge \forall j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5 \\ & \exists (\gamma_{ij}, m_{ij}) \wedge \exists (I_e, I_v, I_t, I_g, I_c) : \\ & [P(m_{ij}, Z_{ij}(\gamma_{ij})) \wedge P(\gamma_{ij}, Z_e(I_e)) \wedge P(\gamma_{ij}, Z_v(I_v)) \wedge \\ & \wedge P(\gamma_{ij}, Z_t(I_t)) \wedge P(\gamma_{ij}, Z_g(I_g)) \wedge P(\gamma_{ij}, Z_c(I_c)) \wedge P(I_e, I_v, I_t, I_g, I_c, Z_n)]. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Совместимость. Рассмотрим более подробно особенности рассматриваемой АИС поддержки принятия решений.

Непосредственный контакт с процессом управления коммунальными системами (системой математических моделей функционирования отдельных сетей, их элементов и т.д.) имеют только нижестоящие задачи. Задачи вышестоящего уровня могут воздействовать на процесс Пу только через задачи нижнего уровня. Поэтому достижение целей глобальной задачи возможно только при координируемости нижестоящих задач относительно глобальной.

Вышестоящая задача, например, Z_v , осуществляя координацию задачи Z_{2j} , преследует свои цели (достижение максимума эффективности от принимаемых решений по управлению водопроводными и канализационными сетями). Поэтому задачи, например Z_{2j} , $j \in N_2$, должны быть координируемы и по отношению к задаче Z_v .

Учитывая перечисленные особенности системы для совместимости целей, которые стоят перед рассматриваемыми задачами (рис. 2.1), координация нижестоящих задач относительно вышестоящего уровня должна быть связана с глобальной задачей. Поэтому введем оператор f_m , отображающий $I = (I_e, I_v, I_t, I_g, I_c)$ в сигналы, влияющие на процесс управления коммунальными системами:

$$\begin{aligned} & f_m : L_e \times L_v \times L_t \times L_g \times L_c \rightarrow M_e \times M_v \times M_t \times M_g \times M_c, \text{ т.е.} \\ & (m_{ij}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5) = f_m(I_e, I_v, I_t, I_g, I_c). \end{aligned}$$

Будем считать известными обратные операторы f_m^{-1} , позволяющие определить I_e, I_v, I_t, I_g, I_c по (m_{ij}) , т.е.

$$(I_e, I_v, I_t, I_g, I_c) = f_m^{-1}(m_{ij}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5).$$

Тогда требование совместимости задач в иерархической системе управления коммунальными системами может быть сформулировано в форме:

$$\begin{aligned}
& (\forall i \in \{1, 2, 3, 4, 5\} \wedge \forall j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5 \exists (\gamma_{ij}, m_{ij}) \wedge \\
& \wedge \exists (I_e, I_v, I_t, I_g, I_c)) : [P(m_{ij}, Z_{ij}(\gamma_{ij})) \wedge P(M_e, Z_e) \wedge P(M_v, Z_v) \wedge \\
& \wedge P(M_t, Z_t) \wedge P(M_g, Z_g) \wedge P(M_c, Z_c)] \Rightarrow \\
& [P(m_{ij}, Z_{ij}(\gamma_{ij})) \wedge P(f_m^{-1}(m_{ij}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, \\
& j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5), Z_n)].
\end{aligned} \tag{2.14}$$

Условие (2.14) означает, что задачи Z_{ij} нижнего уровня скорректированы относительно глобальной задачи Z_n тогда, когда они скорректированы относительно задач Z_e, Z_v, Z_t, Z_g, Z_c .

Модифицируемость. В случае, когда в многоуровневой системе поддержки принятия решений по управлению региональными коммунальными системами отсутствует координируемость, задачи нижнего уровня необходимо модифицировать так, чтобы координируемость имела место. Другими словами, требуется найти такие множества координирующих сигналов $\overline{\Gamma_e}, \overline{\Gamma_v}, \overline{\Gamma_t}, \overline{\Gamma_g}, \overline{\Gamma_c}, \overline{L_e}, \overline{L_v}, \overline{L_t}, \overline{L_g}, \overline{L_c}$ и такие множества задач $\{\overline{Z_{ij}}\}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5$, а также $\{\overline{Z_e}\}, \{\overline{Z_v}\}, \{\overline{Z_t}\}, \{\overline{Z_g}\}, \{\overline{Z_c}\}$, при которых выполняются условия (2.13) и (2.14). Введем предикаты P_1 (условие (2.13) выполняется) и P_2 (условие (2.14) выполняется), тогда требование модифицируемости примет вид:

$$\begin{aligned}
& \exists (\overline{\Gamma_e} \subseteq \Gamma_e, \overline{\Gamma_v} \subseteq \Gamma_v, \overline{\Gamma_t} \subseteq \Gamma_t, \overline{\Gamma_g} \subseteq \Gamma_g, \overline{\Gamma_c} \subseteq \Gamma_c, \\
& \overline{L_e} \subseteq L_e, \overline{L_v} \subseteq L_v, \overline{L_t} \subseteq L_t, \overline{L_g} \subseteq L_g, \overline{L_c} \subseteq L_c, \\
& \{\overline{Z_{ij}}\} \subseteq \{Z_{ij}\}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5, \\
& \{\overline{Z_e}\} \subseteq \{Z_e\}, \{\overline{Z_v}\} \subseteq \{Z_v\}, \{\overline{Z_t}\} \subseteq \{Z_t\}, \{\overline{Z_g}\} \subseteq \{Z_g\}, \{\overline{Z_c}\} \subseteq \{Z_c\}) : \\
& (\forall (\gamma_{1j} \in \overline{\Gamma_e}, \gamma_{2j} \in \overline{\Gamma_v}, \gamma_{3u} \in \overline{\Gamma_t}, \gamma_{4j} \in \overline{\Gamma_g}, \gamma_{5u} \in \overline{\Gamma_c}, \\
& I_e \in \overline{L_e}, I_v \in \overline{L_v}, I_t \in \overline{L_t}, I_g \in \overline{L_g}, I_c \in \overline{L_c}, \\
& Z_{ij} \in \{\overline{Z_{ij}}\}, Z_e \in \{\overline{Z_e}\}, Z_v \in \{\overline{Z_v}\}, Z_t \in \{\overline{Z_t}\}, Z_g \in \{\overline{Z_g}\}, \\
& Z_c \in \{\overline{Z_c}\}) \rightarrow [P_1 \wedge P_2]).
\end{aligned} \tag{2.15}$$

Условия (2.13), (2.14), (2.15) требуют, чтобы исходные множества задач $\{Z_{ij}\}, i \in \{1, 2, 3, 4, 5\}, j \in N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5, \{Z_e\}, \{Z_v\}, \{Z_t\}, \{Z_g\}, \{Z_c\}$ были достаточно мощными, чтобы выбором подмножеств этих множеств можно было бы добиться совместимости и координируемости задач в системе.

При проектировании системы уровень формализации отдельных задач управления коммунальными системами определяется наличием сведений: об источниках воды, тепла, газа и т.д.; конфигурации коммунальных сетей и характеристиках отдельных объектов; правилах и приемах принятия решений. Таким образом, определено место каждой подсистемы в общей схеме совокупности задач управления региональными коммунальными системами и в частности, подсистемы управления водопроводными и канализационными сетями.

Алгоритмы решения взаимосвязанных задач управления сетями должны обеспечивать нахождение решения с точностью, согласованной с точностью исходной информации. Разработка интеллектуального и программного обеспечения на основе системного подхода позволит повысить качество, снизить сроки выполнения и стоимость реализации управленческих решений, связанных с удовлетворением потребностей населения в энергоресурсах.

В связи с высокой размерностью задачи управления региональными коммунальными системами, сложностью разработки информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений в данной работе ограничимся рассмотрением подходов к разработке этих моделей, непосредственно связанных с управлением водопроводными сетями. Следует отметить, что используемые при этом правила и приемы в большинстве случаев справедливы и при разработке информационных и процедурных моделей поддержки принятия решений управления другими типами инженерных систем.

2.2. РАЗРАБОТКА ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА ТЕРРИТОРИИ

В настоящее время коммунальные системы объединяют электрические, тепловые, водопроводные, газовые сети, которые являются очень сложными инженерными объектами. При этом, основной задачей

деятельности служб, обеспечивающих нормальное их функционирование, является доставка потребителям того или иного носителя с заданными физическими параметрами. Эта задача, как было отмечено выше, ставит перед эксплуатирующими организациями целый ряд внутренних подзадач:

- инвентаризации объектов распределенной производственной и вспомогательной инфраструктуры соответствующих служб коммунальных систем;
- помощи в организации обслуживания клиентов и расчетов с ними за предоставляемые ресурсы (воду, газ, электроэнергию);
- анализа деятельности предприятия и качества обслуживания потребителя;
- оперативного диспетчерского управления в нормальном режиме эксплуатации;
- оперативного реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации, в том числе внешние по отношению к данной конкретной сети;
- обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ;
- мониторинга состояния сетей и предотвращения аварийных ситуаций;
- конкретного развития и проектирования инженерных сетей.

Для принятия оптимальных решений этих и других задач необходимо создание единого информационного пространства (ЕИП) территории муниципального образования [110], охватывающей сферу деятельности служб, обеспечивающих нормальное функционирование коммунальных систем.

2.2.1. Структура единого информационного пространства

Принятая 25 июля 2007 г. Советом Безопасности РФ под председательством Президента РФ «Стратегия развития информационного общества в России» [110], определяет основные цели формирования и развития Единого информационного пространства и информатизации общества. Это – повышение качества жизни граждан, развитие экономической, социально-политической, культурной и духовной сфер жизни общества, совершенствование системы государственного управления на основе использования информационных и телекоммуникационных технологий.

При реализации этой стратегии в масштабе отдельной территории, охватывающей сферу деятельности региональных организаций, например, таких как ОАО «Тамбовские коммунальные системы» структура последовательно осуществляемых шагов, при создании единого информационного пространства территории, представляется в виде:

- Разработка концепции корпоративной информационно-аналитической системы в иерархической цепочке: уровень субъекта Федерации; уровень подведомственных и муниципальных систем;
- Проектирование корпоративной информационно-аналитической системы организации, которая должна включать подсистемы: сбора информации (из отдельных подразделений, подчиненных отдельным филиалам корпорации); ведения хранилищ данных; доступа к информации; корпоративного документооборота; обеспечивающей сквозное взаимодействие руководства корпорации с подчиненными структурами;
- Проектирование типовых корпоративных систем, интегрирующих информацию из подведомственных подсистем и включающих аналогичные подсистемы на уровне отдельных филиалов;
- Организация информационного взаимодействия подведомственных систем с единой корпоративной системой через каналы связи.

Исходя из этого, нами на базе системного анализа и методов математического моделирования разработана структура ЕИП территории, охватывающей сферу деятельности служб, обеспечивающих нормальное функционирование коммунальных систем и включающей совокупность информационных средств и ресурсов, интегрируемых в единую систему, а именно: собственно информационные ресурсы (массивы документов, базы и банки данных, все виды архивов и др.), содержащие информацию, зафиксированную на соответствующих носителях; сетевое и специальное программное обеспечение; сеть телекоммуникаций на примере территориально распределенной корпоративной компьютерной сети службы филиала ОАО «Тамбовские коммунальные системы» «Тамбовводоканал», системы специального назначения и общего пользования, сети и каналы передачи данных, средства коммутации и управления информационными потоками, а также элементов водопроводных и канализационных сетей, используемых при сборе информации (термопар, манометров, расходомеров и т.д.), ее преобразовании (ЦАП и

АЦП), передаче по каналам связи, реализации управляющих информационных сигналов и специального оборудования базе автомобильного транспорта, снабженного датчиками ГЛОНАСС/GPS. Структурная схема ЕИП на примере г. Тамбова приведена на рис. 2.2.

В свою очередь, для визуализации ЕИП и моделирования процессов, протекающих в объектах коммунальных систем, необходимо создание цифровой пространственной модели территории [32, 33, 61, 62, 75, 77, 100, 105, 106, 109, 111].

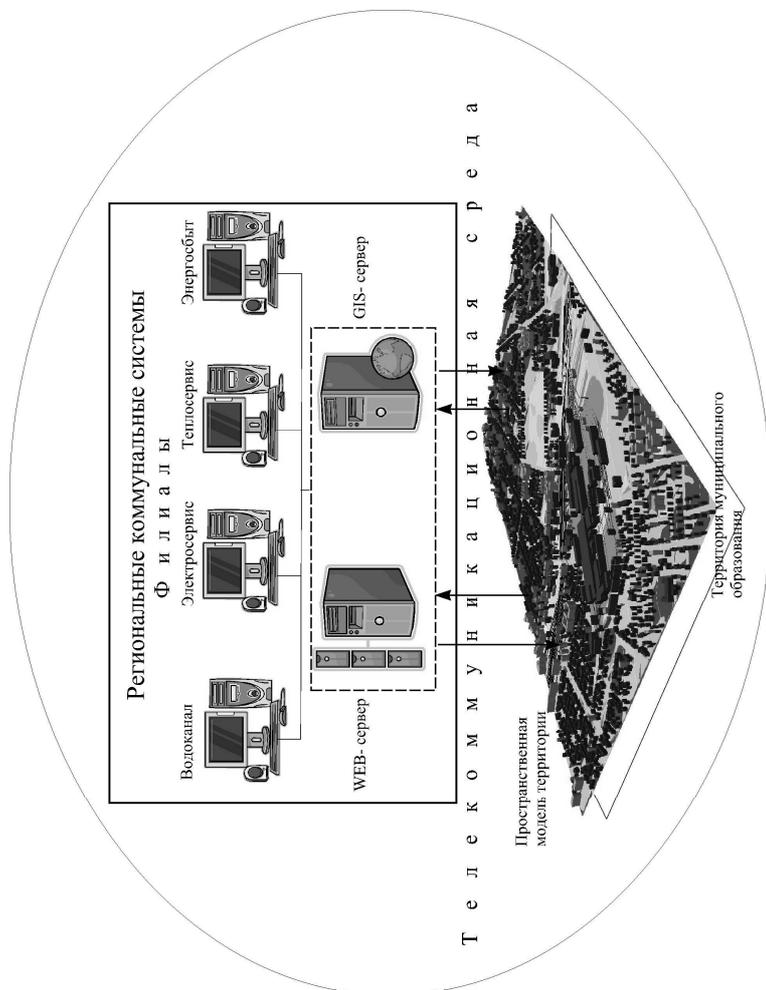


Рис. 2.2. Структурная схема ЕИП при управлении коммунальными системами

2.2.2. Математические методы построения пространственной модели территории

При создании цифровой пространственной модели территории в масштабе муниципального образования (например, города или промышленного узла) целесообразно использовать декартову систему координат. Для описания объектов различного назначения нами использованы растровые и векторные мо-

дели данных [32, 33]. При этом растровая модель, полученная в результате сканирования планшетов планов территории (обычно масштаба 1:500) использована в качестве первичных данных всего информационного массива сведений обо всех ее объектах.

При создании моделей в подобных масштабах приемлемым является допущение о том, что отображение объектов модели осуществляется в трехмерном пространстве P^3 с метрикой

$$\rho((x_{o_i}, y_{o_i}, z_{o_i}), (x_{o_j}, y_{o_j}, z_{o_j})) = |x_{o_i} - x_{o_j}| + |y_{o_i} - y_{o_j}| + |z_{o_i} - z_{o_j}|;$$

$$\forall i, j \in [1, \dots, N],$$

где $(x_{o_i}, y_{o_i}, z_{o_i}), (x_{o_j}, y_{o_j}, z_{o_j})$ – координаты центра объектов с номерами i, j ; N – число объектов.

Одним из важных элементов этой модели является цифровая модель рельефа (ЦМР). Под ЦМР будем понимать средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок и иных значений аппликат (координат по оси Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей или иных изолиний.

Технология генерации ЦМР основана на цифровании горизонталей как основной ее составляющей, а также высотных отметок и других картографических элементов, используемых для отображения рельефа.

Преобразование к ЦМР (матричной или регулярной) осуществляется применением различных методов интерполяции: кригинга, средневзвешенной интерполяции по методу Шепарда, полиномиального и кусочно-полиномиального сглаживания. Получение ЦМР в виде TIN-поверхности (triangulated irregular network), представленной сетью треугольников – элементов триангуляции Делоне с высотными отметками в узлах позволяет представить моделируемую поверхность как многогранную [32].

Среди достоинств TIN-модели, построенной на основе триангуляции Делоне, следует отметить следующее: она имеет наименьший индекс гармоничности как сумму индексов гармоничности каждого из образующих треугольников; для нее характерны свойства максимальности минимального угла (наиболее вырожденности треугольников) и минимальности площади образуемой многогранной поверхности. В связи с этим, ЦМР в виде TIN-поверхности использована нами при создании пространственной модели территории в масштабе муниципального образования.

Для включения в эту модель объектов разного назначения в зависимости от сложности формы объекта, для его описания может быть использован тот или иной графический примитив.

Точечные объекты – это объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства P^3 :

$$t = (x_i, y_i, z_i) \in P^3, \quad (2.16)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты объекта с номером i , N_i – число объектов.

При моделировании будем считать, что у таких объектов нет пространственной протяженности, длины или ширины, каждый из них может быть обозначен координатами своего местоположения. В действительности, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе просто невозможно их увидеть. В качестве точечных объектов модели территории муниципального образования нами заданы следующие объекты: элементы трубопроводной арматуры (клапаны, задвижки, краны, затворы и т.д.), приборы учета воды, отдельные насаждения и т.п.

При создании реалистичной модели территории для визуализации точечных объектов в ряде случаев целесообразно использовать 3D символы (табл. 2.1).

Линейные объекты представляются как одномерные в координатном пространстве P^3 (в виде совокупности линейных сегментов):

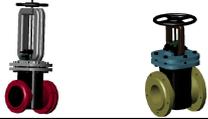
$$l = (x_1, y_1, z_1, \dots, x_j, y_j, z_j, \dots, x_{j_1}, y_{j_1}, z_{j_1}) \in P^3, \quad (2.17)$$

Где $x_1, y_1, z_1, \dots, x_j, y_j, z_j, \dots, x_{N_j}, y_{N_j}, z_{N_j}$ – соответственно координаты «истока», точек изменения направления и «стока» объекта с номером i , N_j – число объектов.

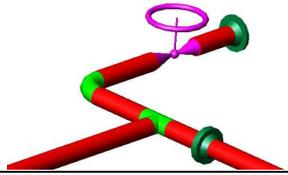
В качестве линейных объектов модели территории муниципального образования заданы следующие объекты: инженерные коммуникации (водопроводные, канализационные, электрические и т.п.), связывающие объекты и источники энергии, автомобильные и железнодорожные трассы и т.п.

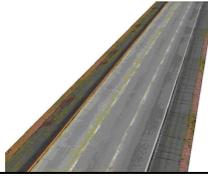
Для визуализации линейных объектов могут быть использованы 3D символы (табл. 2.2).

2.1. Примеры 3D-символов для визуализации точечных объектов пространственной модели территории

Тип объекта	Изображение на модели
Мачта электросети	
Трубопроводная арматура	
Автотранспорт	
Деревья	
Дорожные знаки	
...	...

2.2. Примеры 3D-символов для визуализации линейных объектов пространственной модели территории

Тип объекта	Изображение на модели
Водопроводная трасса	
Теплотрасса	

Тип объекта	Изображение на модели
Автотрасса	
Железная дорога	
...	...

С другой стороны, с точки зрения функционирования, инженерные коммуникации описаны топологическими графами. Так, например, водопроводная сеть представляет из себя топологический связанный граф, т.е. структуру, состоящую из конечного числа вершин (источник, насосная станция, водонапорная башня, водопроводный колодец, резервуар), связанных между собой ребрами (участками). В связанном графе каждая его вершина соединяется некоторой цепью ребер с любой другой вершиной [28, 81].

При выполнении большинства инженерных расчетов водопроводная сеть представлена в виде плоского графа, ребра которого пересекаются только в его узлах. В разветвленной тупиковой сети любые два узла соединены только одной определенной цепочкой участков [24, 59]. Все участки разветвленной сети являются связывающими; все узлы разветвленной сети (кроме конечных) являются точками соединения. В кольцевой сети любые два узла (кроме конечных) соединены несколькими участками.

Пространственные объекты – это геометрические тела, ограниченные поверхностями; их проекции на координатную плоскость xOy представляет собой области, аппроксимируемые многоугольниками. Так, например, промышленные и жилые здания задаются в форме параллелепипедов или цилиндров:

$$O_p = x_{p_p} \cdot y_{p_p} \cdot z_{p_p}, \quad O_s = \pi \cdot x_{d_s}^2 \cdot z_{p_s}, \quad p, s \in [1, \dots, N], \quad (2.18)$$

где $x_{p_p}, y_{p_p}, z_{p_p}, x_{d_s}, z_{p_s}$ – соответственно размеры объектов по каждой оси; N – количество объектов.

К пространственным объектам отнесем также и фрагменты территории определенного назначения – части поверхности рельефа, ограниченные некоторыми многоугольниками (односвязными либо многосвязными), либо математической кривой, например кривой Безье, опирающейся на множество контрольных точек. В случае использования односвязного многоугольника граница территории описывается:

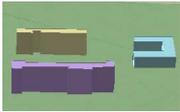
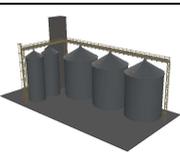
$$I_g = (x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}, \dots, x_{gj}, y_{gj}, z_{gj}, \dots, x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}) \in P^3, \quad (2.19)$$

где $x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}, \dots, x_{gj}, y_{gj}, z_{gj}, \dots, x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}$ – вершины односвязного многоугольника, ограничивающего территорию определенного назначения с номером g .

При построении модели между элементами пространственных объектов установлены некоторые топологические отношения, связывающие их между собой и с атрибутивной информацией, представленной в виде совокупности таблиц, управляемой системой управления базами данных (СУБД) с использованием геореляционной модели их взаимодействия [6, 17 – 19, 93, 98–99].

В качестве примеров изображений пространственных объектов при создании реалистичной модели территории могут использоваться следующие 3D-символы (табл. 2.3).

2.3. Примеры 3D-символов для визуализации полигональных объектов пространственной модели территории

Тип объекта	Изображение на модели
Здания (упрощенные модели)	
Здание (фотореалистичная модель)	
Технологическая установка	
...	...

При построении объектов модели необходимо проводить информационный анализ взаимного расположения трубопроводных сетей различного назначения с целью выявления таких их участков, которые проложены с нарушением соответствующих норм и правил [1, 91, 92, 108], а также проверки правильности трассировки при проектировании новых участков сетей.

Среди основных правил размещения трасс выделим следующие правила размещения объектов и коммуникаций, а именно необходимость соблюдения санитарно-технических и противопожарных разрывов между:

а) объектами: $\forall i, c \in [1, \dots, N]$

$$\left(|x_{o_i} - x_{o_c}| - \frac{xp_i + xp_c}{2} \geq l'_{ic} \right) \vee \left(|y_{o_i} - y_{o_c}| - \frac{yp_i + yp_c}{2} \geq l'_{ic} \right); \quad (2.20)$$

б) коммуникациями и объектами, не являющимися точками «истока» и «стока» для соответствующих коммуникаций: $\forall i \in \overline{1, N}, \forall j \in \overline{1, N_k}$

$$\left(|x_{o_i} - x_{c_j}| - \frac{xp_i + lk_j}{2} \geq l''_{ij} \right) \vee \left(|y_{o_i} - y_{c_j}| - \frac{yp_i + lk_j}{2} \geq l''_{ij} \right); \quad (2.21)$$

где x_{c_j}, y_{c_j}, hc_j – координаты точки c_j , принадлежащей групповой или одиночной трассе;

в) между коммуникациями:

$$\left(|x_{c_j} - x_{c_h}| - \frac{lk_j + lk_h}{2} \geq l'''_{jh} \right) \vee \left(|y_{c_j} - y_{c_h}| - \frac{lk_j + lk_h}{2} \geq l'''_{jh} \right) \vee \left(|hc_j - hc_h| - \frac{hk_j + hk_h}{2} \geq l'''_{jh} \right); \quad (2.22)$$

где x_{c_j}, y_{c_j}, hc_j – координаты точки c_j , принадлежащей групповой или одиночной трассе определенного назначения; lk_j, lk_h – соответственно ширина канала j -й и h -й трассы; $l'_{ic}, l''_{ij}, l'''_{jh}$ – соответственно санитарно-технологические разрывы между группами объектов.

Помимо данных о геометрической форме объекта (2.16) – (2.22), каждый из них снабжен разнообразной атрибутивной информацией, хранящейся либо как отдельные таблицы внутри одной базы дан-

ных (БД), либо как самостоятельные наборы данных, связанные набором указателей и объединенных в банке геоданных.

Представление данных учитывало типы их возможных преобразований. К созданию БД были предъявлены высокие требования, связанные с пространственной формой объектов, для которых она создается [51, 52]:

- согласованной по времени – хранящиеся в ней количественные данные должны соответствовать определенному времени, быть актуальными;
- полной, достаточно подробной для предполагаемого создания пространственной модели территории; категории данных и их подразделения должны включать все необходимые сведения для осуществления анализа данных модели;
- позиционно точной, абсолютно совместимой с другими данными, которые могут добавляться в нее;
- достоверной, правильно отражающей характер процессов, протекающих в объектах модели;
- легко обновляемой;
- доступной для любых пользователей.

Процесс проектирования БД при разработке пространственной модели территории, охватывающей сферу деятельности службы, обеспечивающей бесперебойное функционирование коммунальных систем разделен на три основных уровня: концептуальный, логический и физический [32].

Концептуальный уровень не зависит от имеющихся аппаратных и программных средств. Он включает: описание и определение рассматриваемых объектов; установление способа представления объектов модели в базе данных; выбор базовых типов пространственных объектов; решение вопроса о способе представления размерности и взаимосвязей реального мира в БД. На концептуальном уровне было определено содержание базы данных, в свою очередь, определяемое сутью явления, характером его пространственного распространения и задачами, для которых создается БД.

Логический уровень определяется имеющимися программными средствами и практически не зависит от технического обеспечения. Он включает разработку логической структуры элементов БД данных в соответствии с СУБД, используемой в программном обеспечении. При проектировании БД пространственной модели территории для поддержки принятия решений по управлению объектами коммунальных систем наиболее подходящей является логическая структура реляционной модели данных.

На физическом уровне определялись объемы хранимой в БД информации и рассмотрены вопросы структурирования файлов на диске для обеспечения программного доступа к ним.

Реализация предложенных математических моделей и графических образов различных объектов, лежащих в основе построения пространственной модели территории – сферы деятельности коммунальных систем приведена в разделе 3.2.

2.3. МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЪЕКТА ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ

Для разработки модели знаний об объектах трубопроводной системы введем понятие информационного объекта трубопроводной системы.

Определение. Информационным объектом трубопроводной системы (реального объекта, процесса или события) называется совокупность знаний о ней, представленной в виде графовой структуры фреймов и включающей сведения о составе, свойствах системы и ее элементах, а также способах задания значений этих свойств.

Схема представления данных об информационном объекте O , описывающем трубопроводную систему, приведена на рис. 2.3.

$$O = \{St_o, S_o, Sp_o, M_o\}, \quad (2.23)$$

где St_o – множество фреймов, описывающих структурный состав сложного информационного объекта; S_o – множество фреймов, описывающих свойства, характерные для всего объекта; Sp_o – множество способов задания свойств объекта; M_o – множество моделей, позволяющих определить значения свойств, характерных для всего объекта. При этом следует отметить, что:

$$s_{oi} = \{s'_{oi}, z'_{oi}\}, i = \overline{1, N}; \quad (2.24)$$

где s'_{oi} , z'_{oi} – соответственно наименование свойства s_{oi} и его значение; N – количество свойств.

Элементами множества Sp_o являются термы:

$$\{ \text{"задается ЛПР"}, \text{выбирается из списка ЛПР}, \text{"рассчитывается по модели"} \}. \quad Sp_o = \quad (2.25)$$

Для каждого i -го свойства, значение которого определяется в результате использования аналитической или информационно-логической модели, предлагается модель M_{oi} :

$$M_o = \{M_{o1}, \dots, M_{oi}, \dots, M_{oN}\}. \quad (2.26)$$

В свою очередь, каждый k -й элемент сложного информационного объекта O описан аналогичным способом:

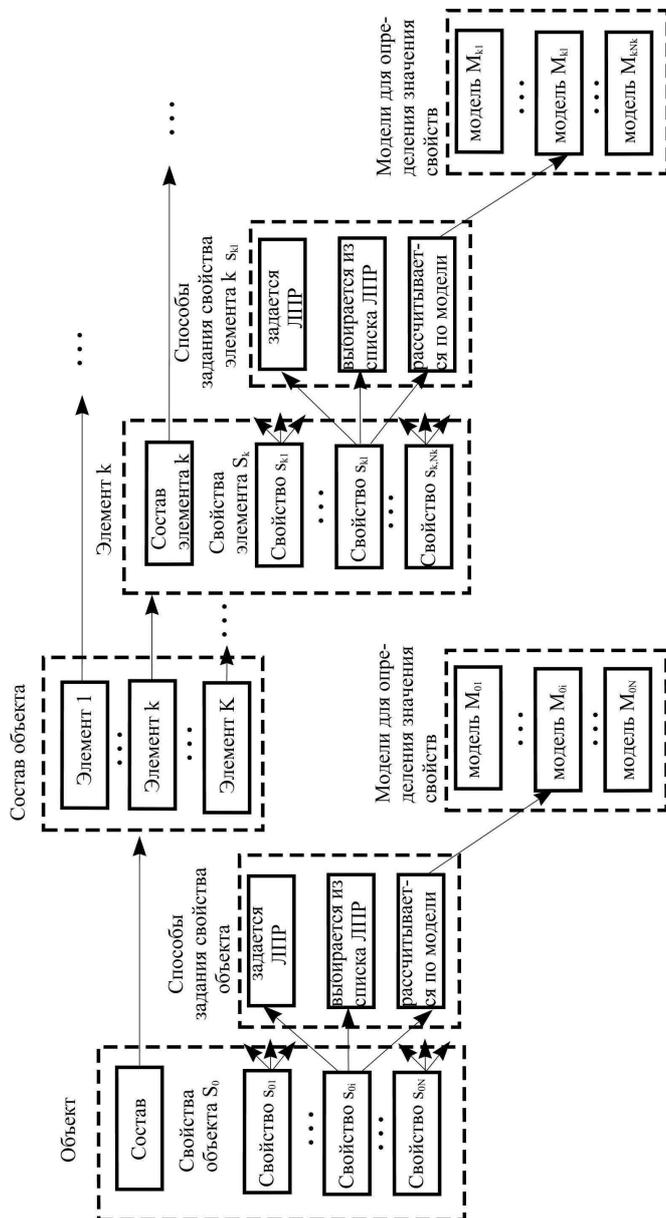


Рис. 2.3. Схема представления знаний об информационном объекте, описывающем трубопроводную систему

$$O_k = \{St_k, S_k, Sp_k, M_k\}, k = \overline{1, K}; \quad (2.27)$$

где St_k – множество фреймов, описывающих структурный состав k -го элемента информационного объекта; S_k – множество фреймов, описывающих свойства, характерные для k -го элемента объекта; Sp_k – множество способов задания свойств k -го элемента объекта; M_k – множество моделей, позволяющих определить значения свойств, характерных для k -го элемента объекта.

$$s_{ki} = \{s'_{ki}, z'_{ki}\}, i = \overline{1, N_k}, \quad (2.28)$$

где s'_{ki}, z'_{ki} – соответственно наименование свойства s_{ki} k -го элемента объекта и его значение; N_k – количество свойств k -го элемента объекта.

Элементами множества Sp_k являются такие термы:

$$\begin{aligned} & \{ \text{"задается ЛПР"}, \text{выбирается из списка ЛПР}, \\ & \text{"рассчитывается по модели"} \}. \end{aligned} \quad Sp_k = \quad (2.29)$$

Для i -го свойства k -го элемента объекта, значение которого определяется в результате использования аналитической или информационно-логической модели, предлагается модель M_{ki} :

$$M_k = \{M_{k1}, \dots, M_{ki}, \dots, M_{kN_k}\}. \quad (2.30)$$

Следует отметить, что множества фреймов $O, O_k | k = \overline{1, K}$ и т.д. (см. рис. 2.3) имеют аналогичную структуру. В связи этим можно говорить о шаблоне для описания информационного объекта или его элемента.

Примеры моделей информационных объектов трубопроводной системы приведены в разделе 3.3.

2.4. ИНФОРМАЦИОННО-ЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТРУБОПРОВОДНЫМИ СИСТЕМАМИ

При решении задач, связанных с водоснабжением различных групп потребителей, в частности: оперативного диспетчерского управления в нормальном режиме эксплуатации водопроводных систем, оперативного реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации, обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ и др., специалисты региональных коммунальных систем сталкиваются с рядом различных производственных ситуаций. В настоящее время принятие эффективных управленческих решений невозможно без использования прикладных автоматизированных информационных систем поддержки принятия решений (АИС ППР).

Для формализованного описания информационных массивов данных, необходимых для решения описанных выше задач, нужно создать структурированную базу данных. Структура данных для рассматриваемой предметной области отображается совокупностью информационно-логических моделей (ИЛМ) и продукционных моделей (ПМ) поддержки принятия решений. При построении таких моделей должны быть обеспечены требования нормализации данных, а сами модели должны быть представлены в каноническом виде.

При разработке модели данных в различных предметных областях могут быть использованы два подхода. При реализации первого (аналитического) подхода сначала формулируются основные задачи, для решения которых строится база, выявляются информационные потребности задач приложения

пользователя, и соответственно определяются состав и структура информационных объектов модели, а также связи между ними. Второй (интуитивный) подход предполагает установление типовых объектов конкретной предметной области и их взаимосвязи. Наиболее рационально сочетание обоих подходов. Это связано с тем, что на начальном этапе, как правило, нет исчерпывающих сведений обо всех задачах. Таким образом, ИЛМ отображает данные предметной области в виде совокупности информационных объектов и связей между ними.

В общем виде ИЛМ поддержки принятия решений для обеспечения режимов нормального функционирования трубопроводных систем представляет собой объединение множеств данных и связей между ними в виде правил. Отдельное продукционное правило ПМ, содержащееся в базе знаний, состоит из двух частей: антецедента и консеквента [14, 15]. Антецедент представляет собой посылку правила (условную часть) и состоит из элементарных предложений, соединенных логическими связками И, ИЛИ. Консеквент (заключение) включает одно или несколько предложений, которые выражают либо некоторый факт, либо указание на определенное действие, подлежащее исполнению.

Таким образом, ИМЛ представлена следующим кортежем

$$M = (d_1, \dots, d_j, \dots, d_N, p_1, \dots, p_j, \dots, p_S), \quad (2.31)$$

где M – оператор ИЛМ; d_1, \dots, d_N – множество данных ИЛМ; p_1, \dots, p_S – множество правил.

В свою очередь, правила, входящие в модель, построены по типу: если ... (условия выполняются), то ... (реализация следствия), в формализованном виде описываются следующим образом:

$$p^k : \left\{ \begin{array}{l} \text{if } ((d_1^k A_1 z_1^k) \wedge (d_2^k A_2 z_2^k) \wedge \dots \wedge (d_n^k A_n z_n^k)) \\ \text{then } (d_{1m}^k A'_1 z_{1M}^k) \end{array} \right\}, \quad (2.32)$$

где *if* – обозначение условия «если»; *then* – обозначение следствия «то»; $A'_i, A_i \in \{=, >, \geq, <, \leq\}$, $i = \overline{1, n}$ – арифметический оператор; \wedge – логический оператор; d_s^k, d_{1m}^k – соответственно входные и выходные данные модели; $Z^k = \{z_1^k, \dots, z_n^k\}$ – множество значений входных данных d_s^k ; $z_1^k \in \{z_{11}^k, \dots, z_{1M}^k\}$ – значение для выходных данных d_{1m}^k ; n – количество условий; k – индекс правила ПМ.

Как было отмечено выше, процесс проектирования базы данных включает в себя три этапа: концептуальное моделирование, логическое проектирование и физическое построение базы данных (БД). Наиболее распространенным средством моделирования для логического проектирования БД является модель «сущность–отношение» или логическая структура, в которой данные описываются как сущности, атрибуты и отношения. В качестве примера на рис. 2.4 приведен фрагмент логической структуры БД, используемой для поддержки принятия решений при управлении трубопроводными сетями.

Для физического хранения данных будем использовать традиционную реляционную БД. Представим нормализованную реляционную базу данных BD в следующем виде:

$$BD = \{D_1, \dots, D_i, \dots, D_I\}, \quad i = \overline{1, I}; \quad (2.33)$$

$$D_i = \{pk_i, FK_j, \overline{D}_i\}; \quad (2.34)$$

$$FK_j = \{fk_{j1}, \dots, fk_{jj}, \dots, fk_{jJ}\}, \quad j = \overline{1, J}; \quad (2.35)$$

$$\overline{D}_i = \{\overline{d}_{i1}, \dots, \overline{d}_{ik}, \dots, \overline{d}_{iK}\}, \quad k = \overline{1, K}; \quad (2.36)$$

где D_i – i -е отношение (таблица); n – количество отношений в базе данных; pk_i – ключевой атрибут i -го отношения; FK_j – множество атрибутов для внешних ключей; \overline{D}_i – множество атрибутов данных.

Конкретный вид ИЛМ и ПМ поддержки принятия решений для обеспечения режимов бесперебойного функционирования трубопроводных систем определяется производственными проблемами и способами их разрешения.

Апробация предложенных ИМЛ и ПМ, реализованных в АИС ППР, осуществлена на примере задач реагирования на различные ситуации, возникающие на участках водопроводной сети г. Тамбова (см. раздел 3.2).

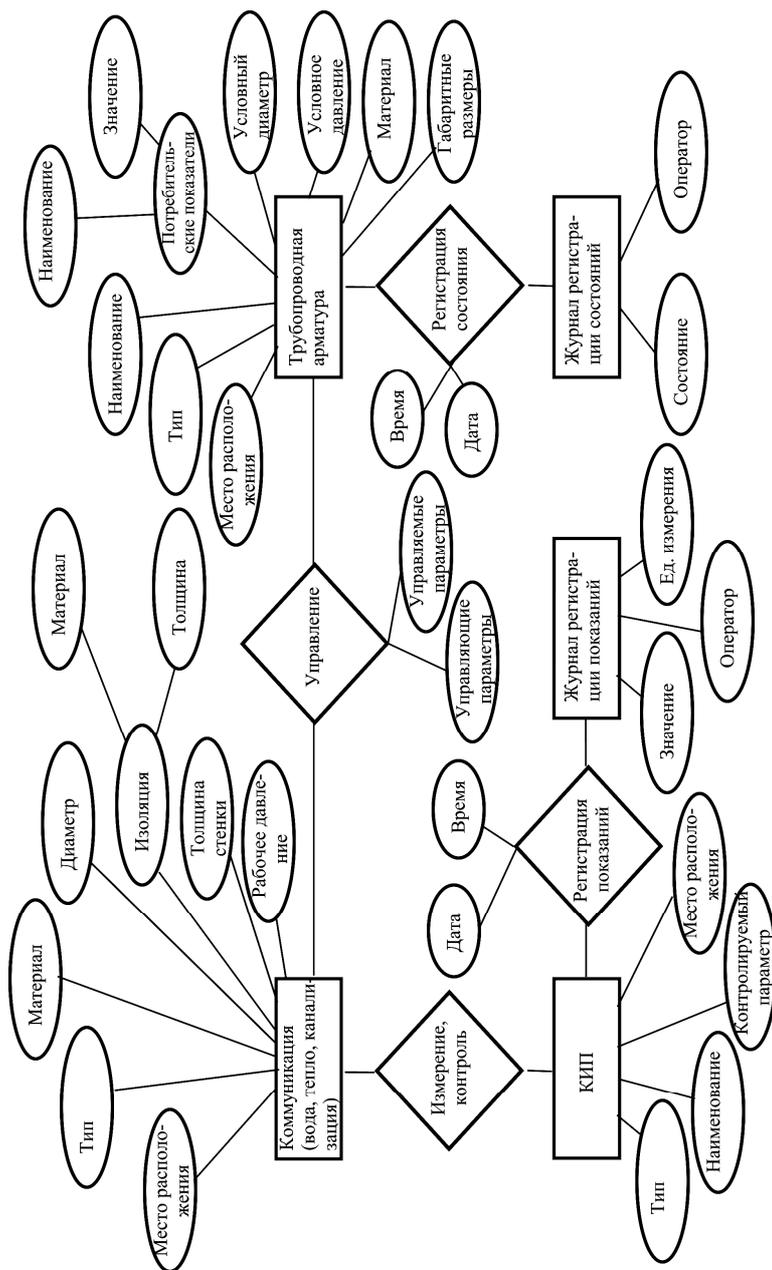


Рис. 2.4. Фрагмент логической структуры базы данных

2.5. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ВЫБОРЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Развитие водопроводных и тепловых систем, внедрение энергосберегающих технологий, автоматизация жилищно-коммунального хозяйства, дало толчок к расширению номенклатуры разнообразных устройств, предназначенных для управления потоками рабочей среды транспортируемой по трубопроводам. Насыщение рынка зарубежными и отечественными образцами, большое разнообразие условий, в которых работают элементы трубопроводных систем (арматура, контрольно-измерительные приборы и т.п.), специфичность требований, предъявляемых к ним, вопросы надежности и долговечности, наличие большого количества конструктивных типов усложняют выбор элементов для конкретных условий эксплуатации в современных системах.

При проведении ремонтных работ сетей специалистам часто приходится решать вопросы, связанные с заменой элементов трубопроводных систем.

Применение тех или иных видов элементов определяются различными факторами, например: возможностью или необходимостью ручного или механического привода, дистанционного или автоматического управления, быстротой срабатывания и т.д.

В связи с этим в данной работе рассматривается подход, позволяющий в интерактивном режиме выбрать вариант элемента трубопроводной сети, исходя из известных потребительско-эксплуатационных показателей и их оценок, выполненных различными группами экспертов.

2.5.1. Оценка потребительско-эксплуатационных показателей элементов трубопроводных систем

Для различных элементов трубопроводной сети, используемой в водопроводных и тепловых сетях, используются разные показатели, например для трубопроводной арматуры наиболее значимыми показателями являются [4]: герметичность затвора (высокая); гидравлическое сопротивление (низкое); частое срабатывание (открывание – закрывание); дросселирование; равнопроходность арматуры и трубопровода; ремонтпригодность и др. При этом, информация о значениях этих показателей часто носит нечеткий характер, так как является результатом экспертных оценок различных групп специалистов: конструкторов, производителей, слесарей-ремонтников и т.п.

Для информационного анализа и обработки такой информации целесообразным является использование математического аппарата экспертных систем в качестве систем поддержки принятия решений.

Пусть $R = (r_m | m = \overline{1, M})$ – множество потребительско-эксплуатационных показателей. Для каждого m -го показателя может быть получена качественная или приближительная количественная информация о его значении. При этом оценка отдельных показателей может быть описана словами, которые в теории нечетких множеств называются термами [2, 43, 45, 47, 79, 80]. В таком случае значением лингвистической переменной, например, показателя «герметичность затвора (высокая)» для конкретного типа запорной арматуры могут быть такие термы, как: «применение не рекомендуется», «применение допустимо», «применение рекомендуется», «применение предпочтительно», «требуется применение специальных конструктивных исполнений» и др. Для определения значений лингвистической переменной необходимо определить четкие значения ее термов, позволяющие перейти от лингвистических переменных к их числовым аналогам. В этом случае группа специалистов-экспертов задает вид функции принадлежности, определяющей степень «принадлежности» каждого точного значения к одному из термов лингвистической переменной.

В настоящее время сформировалось понятие о так называемых стандартных функциях принадлежности: Л-функции, П-функции, Z-функции, S-функции. Для отображения информации приведенной выше целесообразно использовать Л- и П-функции, вид которых представлен на рис. 2.5.

При переходе от нечетких значений величин к вполне определенным необходимы специальные математические методы [2, 43]. Для устранения нечеткости окончательного результата существует несколько методов дефазификации. Наиболее часто используемым является метод центра максимума. Рассмотрим его применительно к нашей задаче.

Для тех значений показателя y , которые описаны Л-функцией в качестве центра максимума будем использовать величину y_{mj}^* , а при использовании П-функции – $y_{mj}^* = (y_{mj}^B + y_{mj}^H) / 2$ (см. рис. 2.5). Взвешенное значение y_m для m -го показателя определим по формуле:

$$y_m = \frac{\sum_{j=1}^{n_m} \rho_{mj} y_{mj}^*}{\sum_{j=1}^{n_m} \rho_{mj}}, \quad (2.37)$$

где ρ_{mj} – коэффициент значимости информации j -й группы специалистов для m -го показателя.

Примем:

$$\rho_{mj} = 1 \text{ – при использовании Л-функции,} \quad (2.38)$$

$$\rho_{mj} = \frac{y_{mj}^B - y_{mj}^H}{y_m^B - y_m^H} \text{ – для П-функции,} \quad (2.39)$$

где \bar{y}_m^H, \bar{y}_m^B – соответственно нижняя и верхняя границы диапазона возможного изменения показателя y_m (см. рис. 2.5, б).

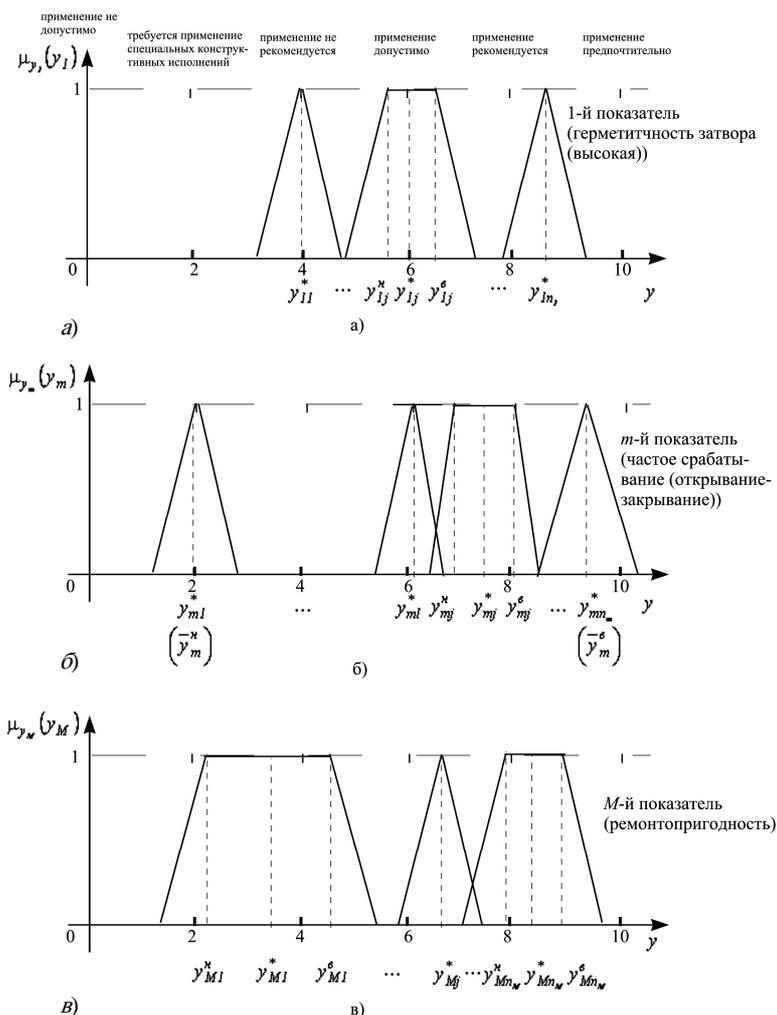


Рис. 2.5. Дефазификация нечеткой информации при оценке потребительско-эксплуатационных показателей различных элементов трубопроводных систем
2.5.2. Процедурная модель выбора элемента трубопроводных систем

В связи с большим разнообразием выпускаемых промышленностью типов элементов трубопроводных систем [4], характеризующихся одинаковыми основными параметрами, возникает необходимость выбора такого элемента, который бы отвечал множеству требований R конкретного потребителя.

Нами предлагается процедурная модель автоматизированного выбора элемента трубопроводных сетей, характеризующегося наилучшими заданными потребительскими показателями для каждого конкретного случая.

На первом этапе выбора для заданных размеров, например для трубопроводной арматуры: условного прохода D_y^{zad} и условного давления P_y^{zad} формируется подмножество допустимых типов, выпускаемых промышленностью $T^{dop} \subset T$, где T – множество всех типов выбираемого элемента. Формирование T^{dop} осуществляется с использованием базы данных типов элемента, созданной в соответствии с используемой для них классификацией, например, для трубопроводной арматуры (см. рис. 2.6).

На следующем этапе автоматизированного выбора элемента среди подмножества типов T^{dop} необходимо выбрать такой тип, который бы удовлетворял выбранному потребителем подмножеству потребительских требований (показателей) $R^{zad} \subset R$.

Вследствие значительного количества критериев оценки (более 20), которые могут быть использованы потребителем при выборе элемента трубопроводных сетей, нами предложена следующая схема

выбора. При этом решается задача, математическая постановка которой формулируется следующим образом:

для заданного функционального назначения, основных потребительских параметрах D_y^{zad} , P_y^{zad} и выбранных потребительско-эксплуатационных показателей $R^{zad} \subset R$ найти такой тип элемента, для которого справедливо следующее:

$$t_{opt} = \arg \min_{t \in T^{dop}} F(t), \quad (2.40)$$

при условии, что с позиций выбранных эксплуатационных показателей применение t -го типа элемента возможно:

$$y_m(t) \neq 0, m \in R^{zad}, t \in T^{dop}, \quad (2.41)$$

где $y_m(t)$ – количественная оценка m -го показателя для t -го типа элемента.

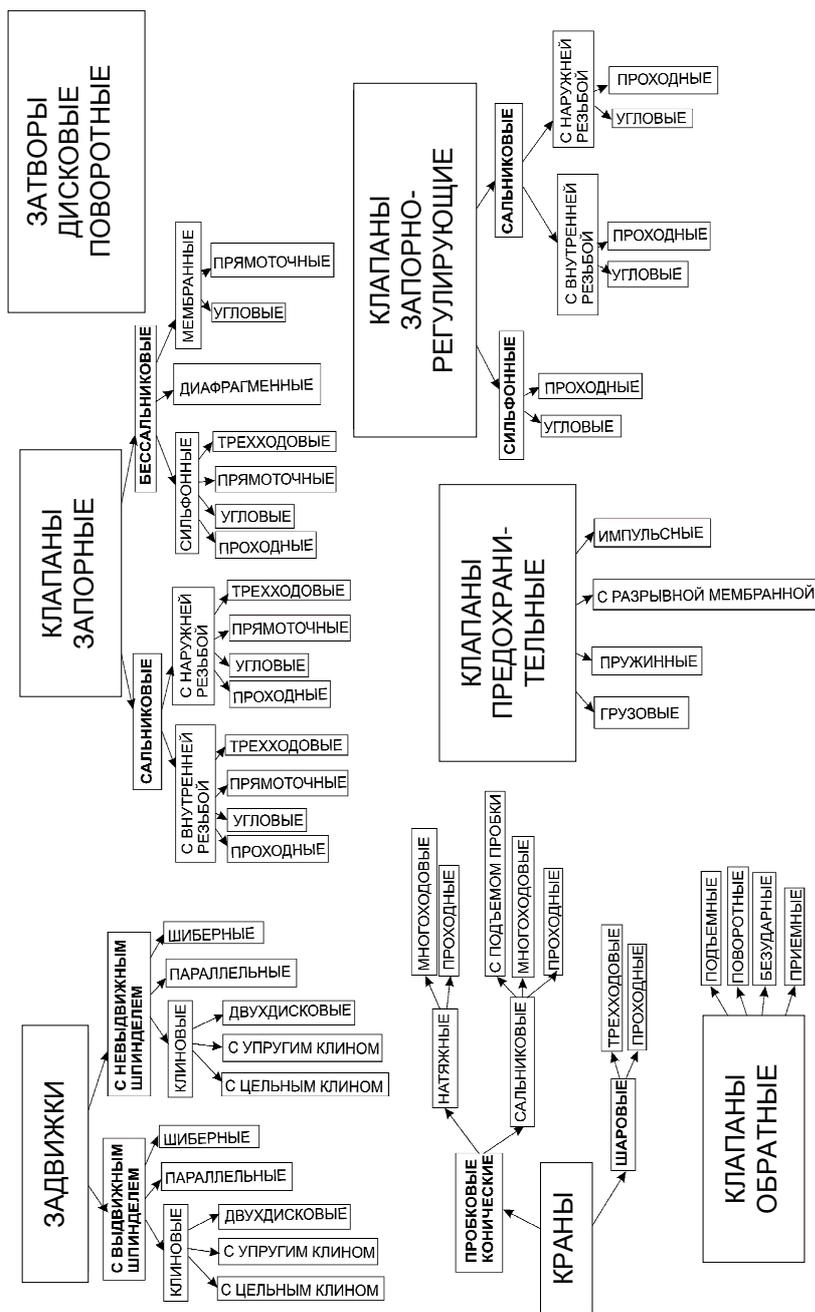


Рис. 2.6. Классификация запорной арматуры

В такой постановке рассматриваемая задача относится к классу многокритериальных задач. Критерий оптимальности $F(t)$ представим в виде суммы взвешенных относительных потерь критериев: стоимости элемента и некоторого подмножества потребительских показателей $R^{zad} \subset R$, задаваемого лицом, принимающим решение (ЛПР), и выберем соответствующие методы нормализации множества критериев и их ранжирования [64, 107, 115, 116]. В этом случае критерий F можно записать как

$$F(t) = \sum_{i=1}^{R^{zad}} \rho_i \cdot \omega_i(t), \quad (2.42)$$

где $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \dots, \rho_{R^{zad}}$ – весовые коэффициенты;

$$\rho = \{\rho_i\} = \{\rho_i : \rho_i > 0 \quad i=1, \dots, R^{zad}, \quad \sum_{i=1}^{R^{zad}} \rho_i = 1\}; \quad (2.43)$$

$\rho_i \cdot \omega_i(t)$ – взвешенные потери по i -му критерию; $\omega_i(t) = \omega_i(F_i(t))$, $i=1, \dots, R^{zad}$, $t \in T^{dop}$ – монотонные функции, преобразующие каждую функцию цели $F_i(t)$, $i=1, \dots, R^{zad}$, $t \in T^{dop}$ к безразмерному виду.

$F_1(t)$ – экономический критерий, включающий в себя стоимость элемента трубопроводных систем; $F_i(t)$, $i=2, \overline{R^{zad}}$ – оценка потребительско-эксплуатационных показателей. Причем для функции цели $F_1(t)$ находится минимум, а для остальных – максимум.

$$\omega_1(t) = \frac{F_1(t) - F_{10}}{F_{1(\max)} - F_{10}}, \quad t \in T^{dop}, \quad (2.44)$$

$$\omega_i(t) = \frac{F_{i0} - F_i(t)}{F_{i0} - F_{i(\min)}}, \quad t \in T^{dop}, \quad i = \overline{2, R^{zad}}, \quad (2.45)$$

где $F_{1(\max)}$ – наибольшее значение минимизируемой функции $F_1(t)$, $t \in T^{dop}$ на множестве допустимых альтернатив T^{dop} , $F_{i(\min)}$, $i = \overline{2, R^{zad}}$ – наименьшее значение максимизируемых функций $F_i(t)$, $t \in T^{dop}$ на множестве допустимых альтернатив T^{dop} , F_{i0} , $i = \overline{1, R^{zad}}$ – оптимальные значения функций цели. Значения $\omega_i(t)$, $i = \overline{1, R^{zad}}$, $t \in T^{dop}$ лежат в пределах от 0 до 1.

Как и при решении других многокритериальных задач, в данном случае необходимо найти такую компромиссную альтернативу $t \in T^{dop}$, которая может не являться оптимальной ни для одной функции цели $F_i(t)$, но оказываться приемлемой для интегрального критерия $F(t)$.

Для выбора компромиссного решения в задаче принятия сложного решения зададим весовые коэффициенты ρ_i , $i = \overline{1, R^{zad}}$, удовлетворяющие соотношению (2.43) и отражающие относительную важность всех функций цели. Наиболее эффективными подходами к определению этого предпочтения являются методы ранжирования и приписывания баллов [3, 64] (последний применен в работе).

Процедура решения задачи (2.40) – (2.45) сводится к формированию множества типов элемента системы заданного функционального назначения, отвечающих основным потребительским параметрам, например: D_y^{zad} , P_y^{zad} , и выбранным ЛПР эксплуатационным показателям $R^{zad} \subset R$, для которых выполняется условие (2.41). Далее, используя метод полного перебора, выбирается такой тип t_{opt} , для которого величина критерия $F(t)$ имеет минимальное значение.

Иллюстрация реализации процедурной модели выбора элемента трубопроводной системы приведена в разделе 3.4 на примере выбора запорной арматуры.

3. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЦЕДУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЛУЖБЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

3.1. ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

Автоматизированная информационная система (АИС) при управлении водопроводными сетями является человеко-машинной системой [27, 46, 69 – 72, 94 – 96, 101, 104], которая позволяет лицу, принимающему решение (ЛПР), использовать информационные данные, знания, продукционные модели для анализа и решения производственных проблем. Структурная схема АИС, удовлетворяющая этому определению, представлена на рис. 3.1.

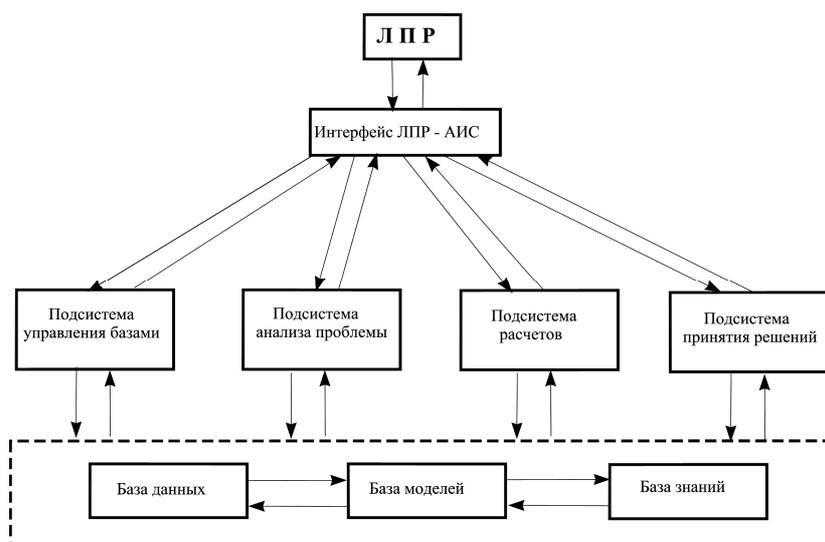


Рис. 3.1. Структурная схема программного обеспечения АИС

Разрабатываемая система, представляющая собой совокупность технических, информационных и методических средств, должна обеспечивать: интерактивный режим организации вычислительного процесса; автоматизацию решения задач; контроль достоверности и полноты информации на этапах ее ввода, хранения и вывода; организацию вывода цифровой, текстовой и графической информации.

При разработке программных модулей системы за основу взят типовой набор технических средств ПЭВМ Pentium IV.

При разработке программного обеспечения решения задач управления коммунальными системами учтены особенности, характерные для данного класса задач. К ним относятся: использование средств диалога в связи со сложностью правил принятия управленческих решений, отсутствием количественных оценок, точно отражающих качество полученных решений и т.п.

В основу построения программного обеспечения системы были положены принципы структурного программирования [5, 25, 30, 36–37]: модульности и децентрализации управления. Согласно ним, отдельные части программного обеспечения были выделены в виде отдельных подсистем. Это позволяет повысить надежность всей системы в целом, упрощает ее дальнейшее совершенствование. Каждый блок реализует решение одной из задач. Взаимосвязь всех функциональных частей системы реализована в соответствии со схемой, приведенной на рис 3.1.

Интерфейс ЛПР-АИС содержит средства для управления диалогом [12, 20, 22, 50, 53, 56]. Подсистема анализа проблем предназначена для первичной структуризации производственной проблемы и установления соответствия между этой проблемой и методом принятия решений. В подсистеме принятия решения содержатся соответствующие методы с моделями. Подсистемы анализа проблем и принятия решений позволяют ЛПР сформулировать производственную проблему с помощью баз данных, моде-

лей и знаний, а также проанализировать возможность ее решения и получить результат (принять решение). В АИС включены также средства для извлечения данных и знаний, построения моделей и манипулирования ими, которые также оформлены в виде подсистем:

- подсистема ввода исходных данных;
- подсистема выпуска документации, выполняющая функцию генератора выходной документации в соответствии с утвержденными на нее требованиями. Вывод информации возможен на принтер, плоттер и экран дисплея;
- подсистема ведения архива, предназначенная для хранения и тиражирования результатов всех ранее выполненных расчетов;
- система управления базами данных, обеспечивающая загрузку и обработку БД, эффективный поиск и корректировку данных;
- геоинформационная система ArcGIS 9.1, предназначенная для сопровождения пространственной модели территории;
- банк атрибутивных и графических данных, содержащий: всю справочную информацию, необходимую для повседневной работы специалистов, непосредственно связанных с принятием решений по управлению водопроводными и канализационными системами.

3.2. ПОСТРОЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ ТЕРРИТОРИИ

В разделе 2.2 нами были рассмотрены математические модели, лежащие в основе построения пространственной модели территории – сферы деятельности региональных коммунальных систем. В этой части работы остановимся на их применении при построении пространственной модели части территории г. Тамбова, обслуживаемой ОАО «Тамбовские коммунальные системы».

Фрагмент примерной схемы атрибутивной БД пространственной модели территории, охватывающей сферу деятельности службы, обеспечивающей нормальное функционирование водопроводных и канализационных систем, приведен на рис. 3.2.

При создании модели в качестве базовой информационной системы используется геоинформационная система (ГИС), имеющая средства трехмерного моделирования, позволяющая построить пространственную модель территории, включающую все объекты, а именно, ArcGIS версии 9.1 корпорации ESRI. Объекты различного назначения представляются в виде совокупностей тематических слоев и связанных с ними атрибутивных данных.

Как было отмечено выше, технология построения пространственной модели территории предусматривает использование в качестве основы планшеты формата А2 на бумажных носителях с отображением на них объектов различного назначения в масштабе 1:500. В связи с тем, что система ArcGIS содержит небольшой перечень 3D-символов для реалистичного отображения объектов модели территории муниципального образования, для его расширения нами использованы графические редакторы Solid Works, 3D Studio Max, позволяющие создать 3D модель объекта и передать его в ГИС ArcGIS в виде VRML-файла (Virtual Realty Modelling Language).

Следует отметить, что при значительном количестве объектов пространственной модели и при использовании компьютеров с процессором Intel Pentium с тактовой частотой меньше 1.6 GHz и оперативной памятью, не превышающей 1 Гб, целесообразно использовать упрощенные изображения объектов. В результате оцифровки в соответствии принятыми при моделировании допущениями создается модель. Фрагменты отдельных типов объектов и всей модели в целом на примере отдельного района г. Тамбова приведены на рис. 3.3 – 3.7.

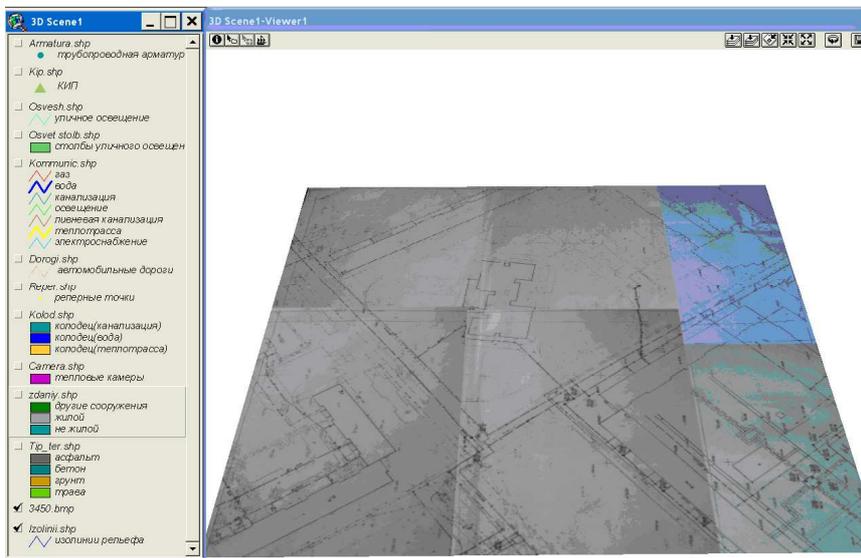


Рис. 3.3. Изображение планшета – основы создания модели

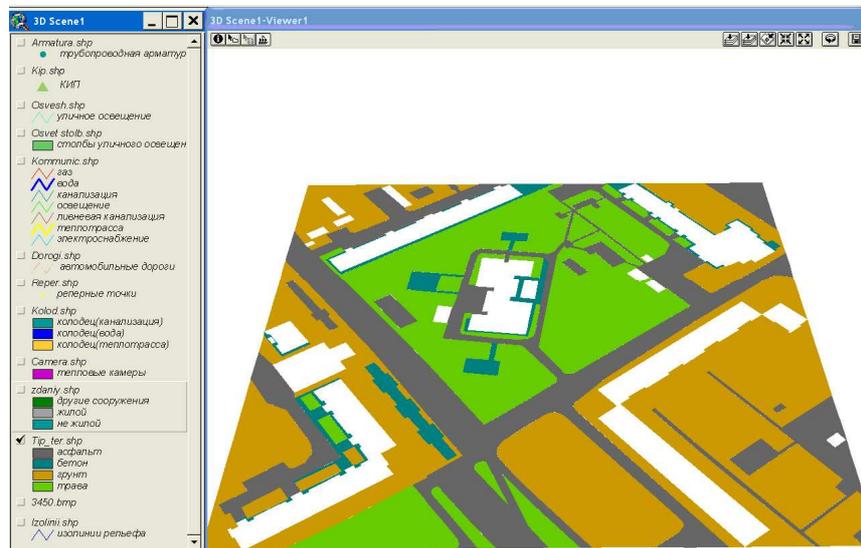


Рис. 3.4. Изображение различных типов территории на модели

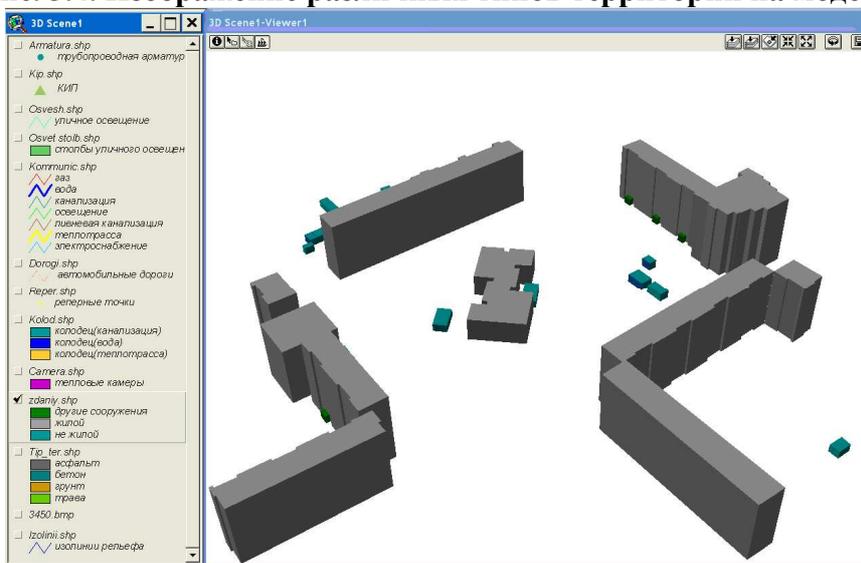


Рис. 3.5. Изображение различных типов зданий на модели

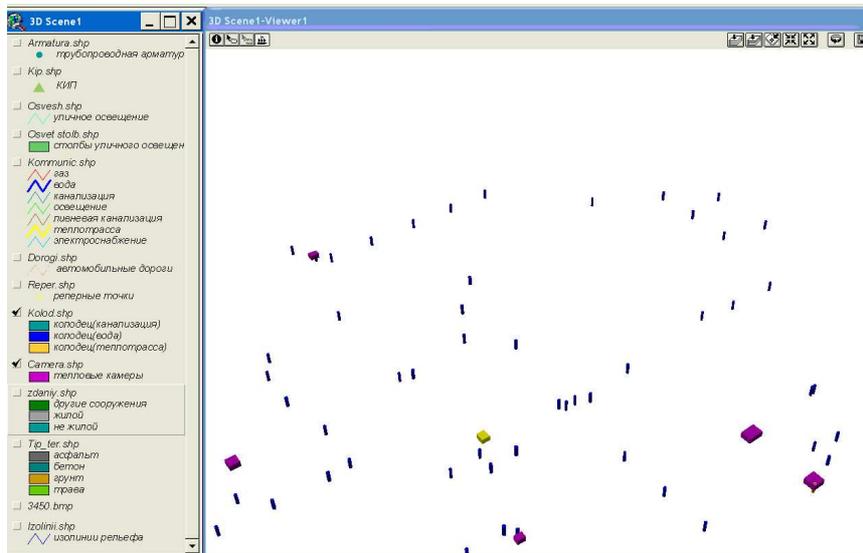


Рис. 3.6. Изображение колодцев и тепловых камер на модели

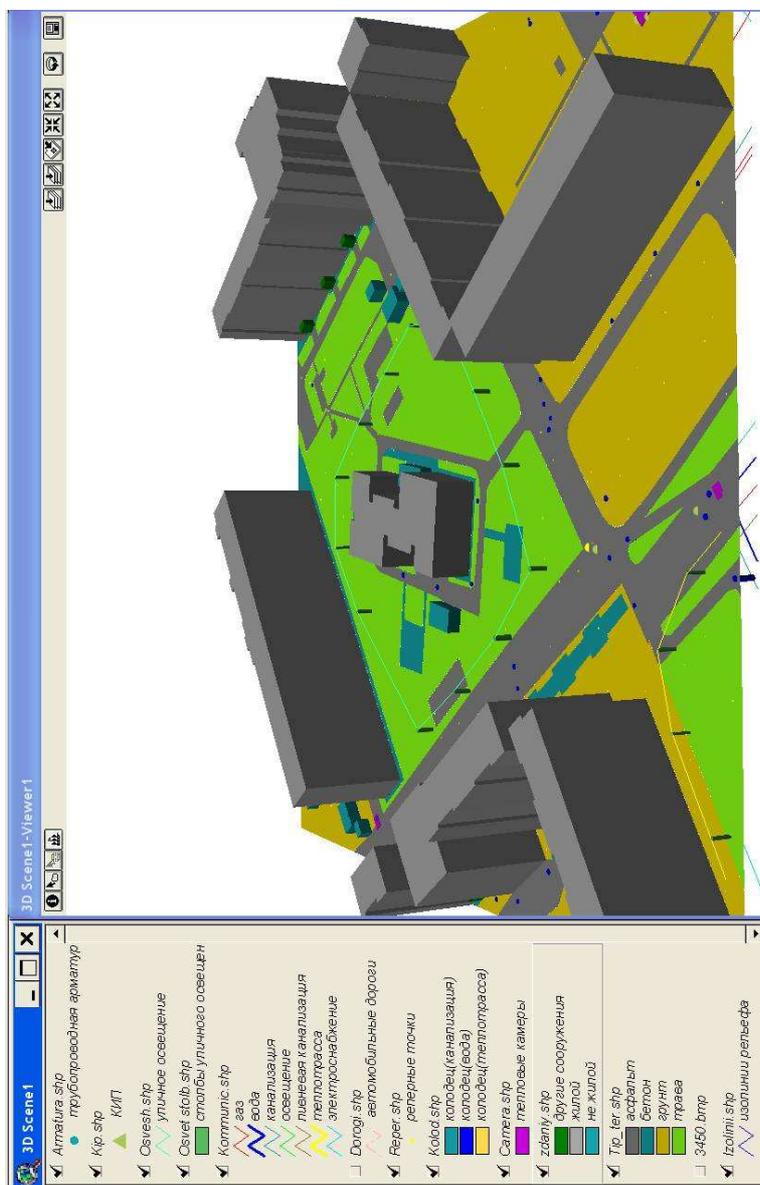


Рис. 3.7. Фрагмент упрощенной пространственной модели района г. Тамбова

3.3. МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЪЕКТА ДЛЯ ФРАГМЕНТА ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

В разделе 2.4 нами предложена модель информационного объекта трубопроводной системы. Реализацию модели рассмотрим на примере фрагмента водопроводной сети: $O = \{St_o, S_o, Sp_o, M_o\}$ (см. (2.23).

Элементами множеств St_o, S_o являются:

$St_o = \{$ "трубопровод", "центробежный насос", "задвижка", "диафрагма",
"постепенное сужение трубопровода", ...,
"внезапное расширение" $\}$.

$S_o = \{$ "жидкость", "плотность жидкости", "вязкость жидкости",
"модуль упругости жидкости", "содержание примесей", ...,
"суточный расход" $\}$.

В качестве примера множеств S_k , описывающих свойства, характерные для k -го элемента объекта можно отметить:

$S_k = \{$ "материал трубы", "диаметр", "длина",
"сопротивление участка сети", "скорость движения",
"шероховатость", ..., "давление при гидравлическом ударе" $\}$.

Для l -го свойства k -го элемента объекта, значение которого определяется в результате использования аналитической или информационно-логической модели, предлагается модель M_{kl} , принадлежащая множеству моделей:

$$M_k = \{M_{k1}, \dots, M_{kl}, \dots, M_{kN_k}\}.$$

Примерами таких моделей, рассмотренных ниже в качестве примеров, являются:

$M_k = \{$ "модель определения свойства", "сопротивление участка сети",
"модель определения свойства", "местные потери напора", ...,
"модель определения свойства",
"давление при гидравлическом ударе" $\}$.

3.3.1. Аналитические модели для определения свойств информационного объекта и его элементов

Модель для определения значения свойства «суточный расход». Для определения конструктивных и технологических параметров трубопроводных систем, в частности систем водоснабжения, необходимо знать расчетные расходы воды в течение суток. В общем случае объем суточного водопотребления муниципального образования или отдельного его района складывается из расходов воды: на хозяйственно-питьевые нужды населения и производственные цели промышленных предприятий.

Водопотребление на хозяйственно-питьевые нужды населения зависит от степени благоустройства жилой застройки, климата и условий снабжения зданий горячей водой. При этом расход воды определяется по норме водопотребления по СНиП [108].

Среднесуточный расход воды на хозяйственно-питьевые нужды определяется по формуле:

$$G_{\text{сут.ср}} = 0,001q_{\text{ср}}N, \quad (3.1)$$

где $q_{\text{ср}}$ – норма водопотребления, л/сут·чел; N – количество число жителей, проживающих на территории.

Расчетный расход воды за сутки наибольшего и наименьшего водопотребления определяются по формулам:

$$G_{\text{сут_max}} = k_{\text{сут_max}} G_{\text{сут_cp}}, \quad G_{\text{сут_min}} = k_{\text{сут_min}} G_{\text{сут_cp}}. \quad (3.2)$$

Коэффициенты суточной неравномерности учитывают климатические условия и связанные с ним изменения водопотребления по сезонам года и дням недели, а также режим работы коммунально-бытовых предприятий. При проведении расчетов примем $k_{\text{сут_max}} = 1,1-1,3$, $k_{\text{сут_min}} = 0,7-0,9$. Часовые расходы воды в сутки максимального и минимального водопотребления определяются по формулам:

$$q_{\text{ч_max}} = k_{\text{ч_max}} \frac{G_{\text{сут_max}}}{24}, \quad q_{\text{ч_min}} = k_{\text{ч_min}} \frac{G_{\text{сут_min}}}{24}, \quad q_{\text{ч_cp}} = \frac{G_{\text{сут_max}}}{24}. \quad (3.3)$$

где $k_{\text{ч_max}}$, $k_{\text{ч_min}}$ – соответственно коэффициенты часовой неравномерности, определяемые из выражений:

$$k_{\text{ч_max}} = \alpha_{\text{max}} \beta_{\text{max}}, \quad k_{\text{ч_min}} = \alpha_{\text{min}} \beta_{\text{min}}, \quad (3.4)$$

где α_{max} , α_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения коэффициента, зависящего от степени благоустройства, режима работы коммунальных предприятий и других местных условий [1]; β_{max} , β_{min} – соответственно максимальное и минимальное значения коэффициента, отражающего влияние численности населения.

Продолжительность периода потребления наибольшего часового расхода определяется по формуле:

$$t_{\text{max}} = \frac{(24 - t_{\text{cp}}) - (1 - k_{\text{ч_max}})}{k_{\text{ч_max}} - k_{\text{ч_min}}}, \quad (3.5)$$

где t_{cp} – продолжительность периода водопотребления среднего часового расхода, равная 9-10 часов. В таком случае оставшийся от суток промежуток времени будет соответствовать продолжительности потребления наименьшего часового расхода воды

$$t_{\text{min}} = 24 - t_{\text{cp}} - t_{\text{min}}. \quad (3.6)$$

Модель определения значения свойства «сопротивление участка водопроводной сети». Расход воды в системе водоснабжения связан с сечением трубы и скоростью движения следующей зависимостью [1]:

$$G = \frac{\pi d^2}{4} v, \quad (3.7)$$

где v – скорость движения воды в трубе; d – внутренний диаметр трубы.

В большинстве случаев не представляется возможным установить какие-либо обоснованные пределы колебания расчетной скорости движения воды в трубах исходя из чисто технических соображений [1].

Потери напора при движении воды по трубам пропорциональны их длине и зависят от диаметра труб, расхода воды (скорости течения), характера и степени шероховатости стенок труб (т.е. от типа и материала труб) и от области гидравлического режима их работы.

Основной формулой инженерной гидравлики, связывающей все указанные характеристики, является формула Дарси-Вейсбаха [1]:

$$h_{\text{ин}} = \lambda \frac{v^2 l}{2gd}, \quad (3.8)$$

где h_{lin} – линейные потери напора; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; l , d – соответственно длина и диаметр трубы; v – скорость движения воды; g – ускорение свободного падения.

Коэффициент гидравлического трения можно определять по формуле А.Д. Альтшуля [1]:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (3.9)$$

где k_e – коэффициент эквивалентной шероховатости, м; v – скорость движения воды в трубе, м/с; d – внутренний диаметр трубопровода, м; Re – безразмерное число Рейнольдса; $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с – кинематический коэффициент вязкости воды при температуре воды 10 °С.

При $k_e = 0$ формула (3.9) А.Д. Альтшуля переходит в формулу Блазиуса, а при $Re = \infty$ в формулу профессора Б.Л. Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k_e}{d} \right)^{0,25}. \quad (3.10)$$

После преобразований получим выражение для определения линейных потерь на отдельном u -м участке трубопровода:

$$h_{lin} = 0,11 k_e \left(\frac{16 I_u G_u^2}{2 g \pi^2 d^{5,25}} \right). \quad (3.11)$$

В течение времени эксплуатации пропускная способность трубопроводов снижается, вследствие коррозии и образования отложений на трубах. При этом происходит изменение шероховатости трубопровода и его зарастание (уменьшение поперечного сечения). Увеличение шероховатости и зарастание приводит к уменьшению диаметра трубопровода и как следствие к увеличению потерь напора. Меньше всего этому явлению подвержены асбоцементные, стеклянные и пластмассовые трубы. Сложность физических, химических и биологических явлений, определяющих изменение шероховатости труб и их зарастание, приводит к необходимости ориентироваться на некоторые средние показатели, которые в первом приближении можно оценить по формуле [48]:

$$k_t = k'_e + \delta t, \quad (3.12)$$

где k'_e – коэффициент эквивалентной шероховатости для новых труб в начале эксплуатации, мм; k_t – коэффициент эквивалентной шероховатости через t лет эксплуатации, мм; δ – ежегодный прирост абсолютной шероховатости, мм в год.

В соответствии с классификацией, предложенной А.Г. Камерштейном, природные воды разбиваются на пять групп, каждая из которых определяет характер и интенсивность снижения пропускной способности трубопровода (табл. 3.1). Значения коэффициента эквивалентной шероховатости для новых труб приведены в табл. 3.2.

Модели определения значения свойства «местные потери напора» для отдельных элементов информационного объекта. Общие потери в трубопроводе, с учетом потерь в местных сопротивлениях могут быть определены по формуле:

$$h_o = h_{lin} + h_m = (1,05 \dots 1,1) h_{lin}, \quad (3.13)$$

где 1,05...1,1 – коэффициент, учитывающий потери в местных сопротивлениях.

3.1. Ежегодный прирост абсолютной шероховатости для различных вод

Группа	Коррозионное воздействие	Характеристика природных вод	Ежегодный прирост абсолютной шероховатости, мм в год
Группа 1	Слабое	Слабоминерализованные некоррозионные воды с показателем стабильности от $-0,2$ до $+0,2$; вода с незначительным содержанием органических веществ и растворенного железа	$0,005 - 0,05$ (в среднем $0,025$)
Группа 2	Умеренное	Слабоминерализованные некоррозионные воды с показателем стабильности до $-1,0$; воды, содержащие органические вещества и растворенное железо в количестве, меньшем 3 г/м^3	$0,055 - 0,18$ (в среднем $0,07$)
Группа 3	Значительное	Весьма коррозионные воды с показателем стабильности от $-1,0$ до $2,5$, но с малым содержанием хлоридов и сульфатов (меньше $100 - 150 \text{ г/м}^3$); воды с содержанием железа больше 3 г/м^3	$0,18 - 0,4$ (в среднем $0,20$)
Группа 4	Сильное	Коррозионные воды с отрицательным показателем стабильности, но с большим содержанием сульфатов и хлоридов (больше $500 - 700 \text{ г/м}^3$); необработанные воды с большим содержанием органических веществ	$0,4 - 0,6$ (в среднем $0,51$)
Группа 5	Очень сильное	Воды, характеризующиеся значительной карбонатной и малой постоянной плотностью с показателем стабильности более $0,8$; сильноминерализованные и коррозионные воды с плотным осадком более 2000 г/м^3	$0,6 - 3,0$

3.2. Коэффициенты эквивалентной шероховатости

Тип трубы	Состояние трубы	Коэффициент эквивалентной шероховатости трубы, мм	Среднее значение коэффициента эквивалентной шероховатости трубы, мм
Бесшовные стальные трубы	Новые и чистые	0,01 – 0,02	0,014
Стальные сварные трубы	Новые и чистые	0,03 – 0,1	0,06
Чугунные трубы	Новые асфальтированные	0 – 0,16	0,12
Чугунные трубы	Новые без покрытия	0,2 – 0,5	0,3
Асбестоцементные	Новые	0,05 – 0,1	0,085
Железобетонные	Новые виброгидропрессованные	0 – 0,05	0,03
Железобетонные	Новые центрифугированные	0,15 – 0,3	0,2
Пластмассовые	Новые, технически гладкие	0 – 0,002	0,001
Стекланные	Новые, технически гладкие	0 – 0,002	0,001
Алюминиевые	Новые, технически гладкие	0 – 0,002	0,001

Местные потери напора обуславливаются преодолением местных сопротивлений, создаваемых фасонными частями, арматурой и прочим оборудованием трубопроводных сетей. Потери напора в местных сопротивлениях вычисляются по формуле Вейсбаха [1]:

$$h_m = \xi \frac{v^2}{2g}, \quad (3.14)$$

где ξ – безразмерный коэффициент местного сопротивления.

Для определения потерь давления формула (3.14) преобразуется к виду:

$$\Delta P_m = \xi \rho \frac{v^2}{2}, \quad (3.15)$$

где ρ – плотность.

При внезапном расширении трубопровода потери напора трубопровода находят по формуле Борда [1]:

$$h_{v_r} = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} = \xi_{v_{r1}} \frac{v_1^2}{2g} = \xi_{v_{r2}} \frac{v_2^2}{2g}, \quad (3.16)$$

где v_1, v_2 – соответственно средние скорости течения до и после расширения.

Модель 1 (для элемента «внезапное расширение трубопровода»). Коэффициент местного сопротивления при внезапном расширении трубопровода в формуле Вейсбаха (3.14) определяется из выражения:

$$\xi_{v_{r1}} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2, \quad \xi_{v_{r2}} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} - 1\right)^2 = \left(\frac{d_1^2}{d_2^2} - 1\right)^2, \quad (3.17)$$

где ω_1, ω_2 – площадь сечения трубопровода соответственно до и после расширения.

Модель 2 (для элемента «внезапное сужение трубопровода»). Коэффициент местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода (рис. 3.8) определяется по формуле:

$$\xi_{v_s} = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2, \quad (3.18)$$

где ε – коэффициент сжатия струи, представляет собой отношение площади сечения сжатой струи в узком трубопроводе ω_{sg} к площади сечения узкой трубы ω_2 :

$$\varepsilon = \frac{\omega_{sg}}{\omega_2}.$$

Коэффициент сжатия струи ε зависит от степени сжатия потока: $n = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ и может быть определен по формуле А.Д. Альтшуля [1]:

$$\varepsilon = 0,57 + \frac{0,043}{1,1 - n}. \quad (3.19)$$

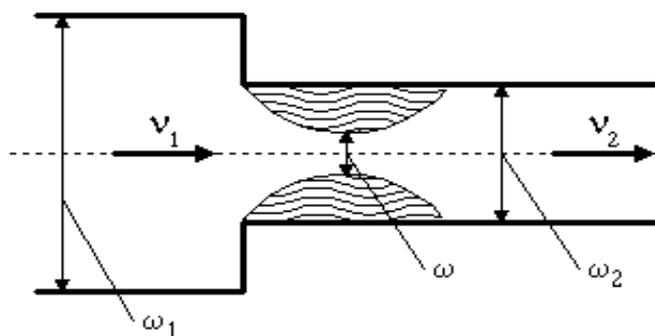


Рис. 3.8. Внезапное сужение трубопровода

Модель 3 (для элемента «диафрагма на трубопроводе»). Коэффициент местного сопротивления диафрагмы, расположенной внутри трубы постоянного сечения (отнесенный к сечению трубопровода) (рис. 3.9, а):

$$\xi_{diafr} = \left(\frac{1}{n_{diafr} \varepsilon} - 1\right)^2, \quad n_{diafr} = \frac{\omega_0}{\omega}, \quad (3.20)$$

где ω_0 , ω – соответственно площадь отверстия диафрагмы и площадь сечения трубы.

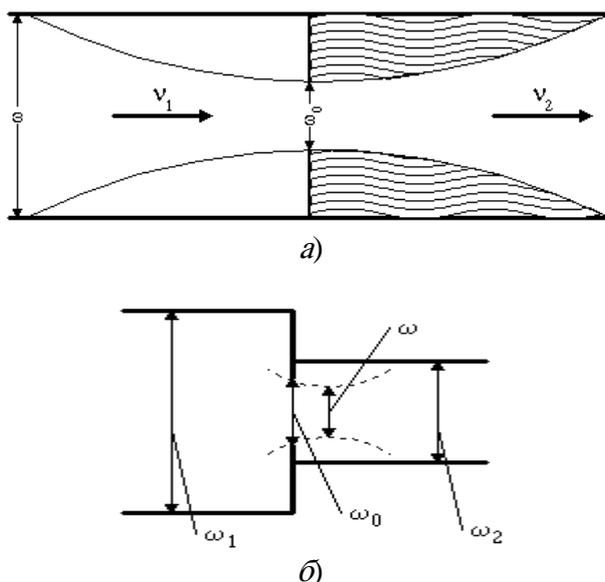


Рис. 3.9. (а, б) Диафрагма на трубопроводе

Для диафрагмы, расположенной на выходе в трубопровод другого диаметра (рис. 39, б)

$$\xi_{diafr} = \left(\frac{1}{n_{diafr} \epsilon} - \frac{1}{m} \right)^2, \quad m = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad n_{diafr} = \frac{\omega_0}{\omega_1}. \quad (3.21)$$

Модель 4 (для элемента «сварной стык на трубопроводе»). Коэффициент сопротивления стыка может быть найден по формуле [1]:

$$\xi_{st} = 14 \left(\frac{\delta}{d} \right)^{1.5}, \quad (3.22)$$

где δ – эквивалентная высота сварного стыка: для стыков с подкладными кольцами ($\delta = 5$ мм; для стыков электродуговой и контактной сварки $\delta = 3$ мм).

$$h_{st} = \xi_{st} \frac{v^2}{2g} k, \quad (3.23)$$

где k – количество стыков на участке.

Модель 5 (для элемента «постепенное расширение трубопровода»). Коэффициент сопротивления для конически расходящихся переходных конусов (диффузоров) (рис. 3.10) зависит от угла конусности и соотношения диаметров. Для коротких конусов коэффициент сопротивления, отнесенный к более широкому сечению, можно найти по формуле [1]:

$$\xi_{pr} = k_{pr} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right)^2,$$

где k_{pr} – коэффициент смягчения при постепенном расширении, зависящий от угла конусности α ; Значения k_{pr} приведены в табл. 3.3.

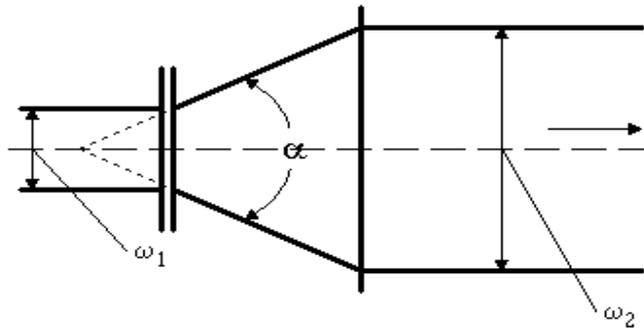


Рис. 3.10. Постепенное расширение на трубопроводе

3.3. Значения коэффициента смягчения при постепенном расширении трубопровода

α , град	4	8	15	30	60	90
k_{pr}	0,08	0,16	0,35	0,8	0,95	1,07

Для данных конусов учитываются также потери по длине.

Модель 6 (для элемента «постепенное сужение трубопровода»). Коэффициент сопротивления для сходящихся переходных конусов (конфузоров) зависит от угла конусности и соотношения диаметров. Для коротких конусов он может быть найден по формуле [1]:

$$\xi_{ps} = k_{ps} \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2, \quad (3.24)$$

где k_{ps} – коэффициент смягчения при постепенном сужении, зависящий от угла конусности α . Значения k_{ps} приведены в табл. 3.4.

3.4. Значения коэффициента смягчения при постепенном сужении трубопровода

α , град	10	20	40	60	80	100	140
k_{ps}	0,4	0,25	0,20	0,20	0,30	0,40	0,60

Модель 7 (для элемента «резкий поворот трубы круглого поперечного сечения»). При резком повороте трубы круглого поперечного сечения на угол α коэффициент сопротивления можно определить по формуле:

$$\xi_{\alpha} = \xi_{90} (1 - \cos \alpha), \quad (3.25)$$

где ξ_{90} – значение коэффициента сопротивления для угла 90° , для ориентировочных расчетов следует принимать $\xi_{90} = 1,0$.

Модель 8 (для элемента «плавный поворот трубы круглого поперечного сечения»). При плавном повороте трубы круглого поперечного сечения (закругленное колено, отвод) (рис. 3.11) коэффициент сопротивления находится по формуле [1]:

$$\xi_{\alpha} = \xi_{90} a. \quad (3.26)$$

Значения параметра a приведены в табл. 3.5.

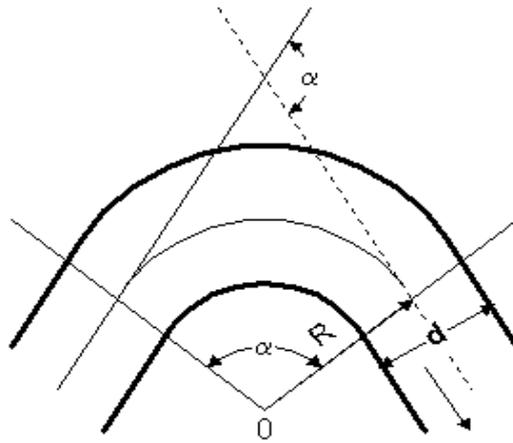


Рис. 3.11. Резкий поворот трубы круглого сечения

3.5. Значения параметра a

α , град	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
a	0,4	0,55	0,65	0,75	0,83	0,88	0,95	1	1,05	1,13

Коэффициент ξ_{90} определяется по формуле А.Д. Альшуля [1]:

$$\xi_{90} = [0,2 + 0,001(100\lambda)^8] \sqrt{\frac{d}{R}}, \quad (3.27)$$

где d, R – соответственно диаметр трубопровода и радиус закругления.

Модель 9 (для элемента «запорное устройство»). Теоретическое значение коэффициента сопротивления для задвижки (рис. 3.12) находится по формуле [1]:

$$\xi_{zad} = \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1 \right)^2, \quad (3.28)$$

где ω_0 – площадь сечения, не стесненная запорным устройством; ω – площадь сечения трубы.

Под степенью открытия задвижки понимают отношение $\beta = \frac{a}{d}$, где a – высота открытия задвижки; d – внутренний диаметр трубы. Потери напора могут быть определены по общей формуле

$$h_{zad} = \xi_{zad} \frac{v^2}{2g}. \quad (3.29)$$

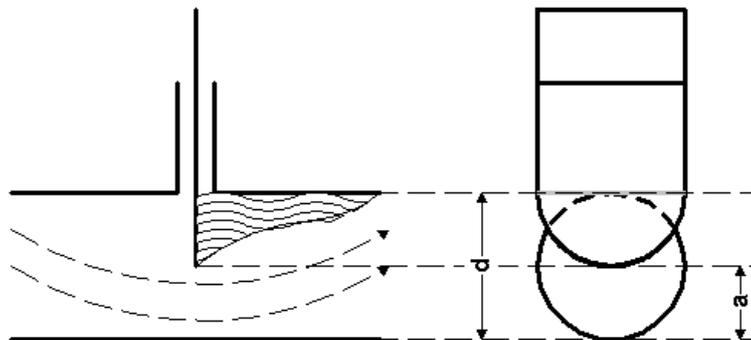


Рис. 3.12. Запорное устройство

3.6. Значение коэффициента сопротивления для задвижки в зависимости от степени открытия

β	1	0,96 3	0,89 7	0,81 7	0,74	0,66 4	0,58 2	0,48 3	0,4	0,31
ξ_{zad}	0,05	0,1	0,15	0,2	0,5	1	1,5	2	5	10
β	0,25 8	0,21 2	0,18 2	0,16 3	0,14 6	0,13 7	0,12 7	0,11 1	0,10 7	–
ξ_{zad}	15	20	25	30	35	40	45	50	100	–

В формуле (3.29) значение коэффициента сопротивления задвижки (для простой задвижки), установленной на прямой трубе круглого поперечного сечения, принимается по табл. 3.6 в зависимости от степени открытия β . При полном открытии задвижки ($\beta = 1,0$) в зависимости от их конструкции, значения коэффициентов местных сопротивлений обычно составляет $\xi_{zad} = 0,05 - 0,15$.

Изменение коэффициента местного сопротивления задвижки может быть с достаточной степенью точности описано регрессионной моделью вида:

$$y(x) = -1 \cdot 10^{-6} x^5 + 2 \cdot 10^{-5} x^4 + 0,0005 x^3 - 0,0125 x^2 - 0,0077 x + 1,0195. \quad (3.30)$$

Модель определения значения свойства «давление при гидравлическом ударе». Гидравлический удар – резкое увеличение давления в трубопроводе при внезапной остановке движущейся в нем жидкости. Гидравлический удар наблюдается при быстром закрывании запорных устройств, установленных на трубопроводах (задвижка, кран), внезапной установке насосов, перекачивающих жидкость, и т.д.

Величину повышения давления при гидравлическом ударе определяют по формуле Н.Е. Жуковского [1]:

$$\Delta P = \rho a v, \quad (3.31)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³; a – скорость распространения ударной волны, м/с; v – скорость движения жидкости в трубе до закрывания задвижки, м/с.

Скорость распространения ударной волны находят по формуле Н.Е. Жуковского:

$$a = \sqrt{\frac{E_g}{\rho} \frac{1}{1 + \frac{E_g d}{E_r \delta}}},$$

где E_g – модуль упругости жидкости; d – диаметр трубы; E_r – модуль упругости материала стенки трубы, (табл. 3.7); δ – толщина стенки трубы.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, представляет собой объемный модуль упругости жидкости:

$$E_g = \frac{1}{\beta_w}. \quad (3.32)$$

Коэффициент объемного сжатия β_w , Па⁻¹, – относительное изменение объема жидкости на единицу изменения давления:

$$\beta_w = \frac{\Delta W}{W \Delta P}, \quad (3.33)$$

где ΔW – изменение объема W , соответствующее изменению давления на величину ΔP .

Для воды при нормальных условиях можно принимать:

$$\beta_w \approx \frac{1}{2 \cdot 10^9}, \text{ Па}^{-1}, E_g \approx 2 \cdot 10^9, \text{ Па.} \quad (3.34)$$

3.7. Значения модуля упругости для твердых тел

Материал трубы	Модуль упругости $E_{tr} \cdot 10^{-10}$, Па
Алюминий	7,05
Бетон	2,12
Сталь	21,2
Чугун	11,5
Стекло	6

Если считать материал трубы абсолютно неупругим ($E_{tr} = \infty$), то выражение для скорости a принимает вид:

$$a = \sqrt{\frac{E_g}{\rho}}. \quad (3.35)$$

Скорость распространения ударной волны в этом случае равняется скорости распространения звука в жидкости. При обычных значениях отношения $\frac{\delta}{d}$ значение может приниматься равным 1200 м/с для стальных труб и 1000 м/с для чугунных труб.

Формула (3.35) действительна в случае, если время закрывания задвижки меньше времени, в течение которого ударная волна дойдет до резервуара и отраженная волна, сопровождающаяся падением давления, вернется к задвижке, т.е. при условии $\tau < \frac{2l}{a}$.

Если $\tau > \frac{2l}{a}$, то давление не достигнет максимальной величины, так как частично погашается отраженной волной. В этом случае повышение давления может быть найдено по формуле Мишо [1]:

$$\Delta P = \frac{2\rho N}{\tau}. \quad (3.36)$$

Модель определения значения свойства «высота подъема воды» для элемента информационного объекта «центробежный насос». Характеристику насоса с достаточной степенью точности можно выразить уравнением [48]:

$$H = H_\phi - G_n^2 S_\phi = H_\phi - h_\phi, \quad (3.37)$$

откуда

$$G_n = \sqrt{\frac{H_\phi - H}{S_\phi}} = \sqrt{\frac{h_\phi}{S_\phi}}, \quad (3.38)$$

где H – высота подъема воды насосом (м) при заданной его производительности G_n , л/с; S_ϕ – фиктивное сопротивление насоса, $(\text{с/л})^2 \cdot \text{м}$; H_ϕ – фиктивная максимальная высота подъема воды, м; h_ϕ – фиктивные потери напора в насосе, м.

Параметры уравнения (3.37) можно найти по двум точкам характеристики насоса, лежащим примерно в конце первой и третьей четверти рабочей области применения насоса [48] (на рис. 3.13 точки с координатами H_a, G_a, H_b, G_b).

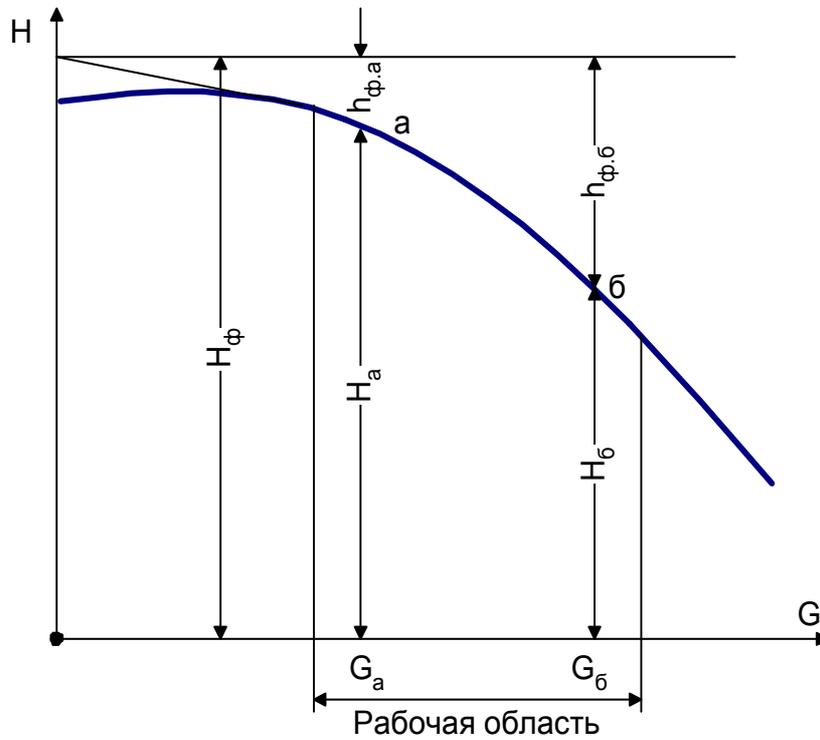


Рис. 3.13. Зависимость высоты подъема воды от производительности насоса

$$S_{\phi} = \frac{H_a - H_б}{G_б^2 - G_a^2}, \quad (3.39)$$

$$H_{\phi} = H_a + G_a^2 S_{\phi} = H_б + G_б^2 S_{\phi}, \quad (3.40)$$

Фиктивный максимальный напор H_{ϕ} и фиктивное сопротивление S_{ϕ} для группы совместно работающих насосов может быть определено следующим образом:

Для группы n параллельно работающих насосов с одинаковыми характеристиками:

$$G_{gr} = nG_1, \quad (3.41)$$

$$H_{\phi,gr} = H_{\phi,1}, \quad (3.42)$$

где G_1 – производительность одного насоса при заданном напоре, л/с; $H_{\phi,1}$ – фиктивный напор у каждого насоса, м.

Тогда

$$H_{gr} = H_{\phi,1} - n^2 G_n^2 S_{\phi,gr}, \quad (3.43)$$

$$S_{\phi,gr} = \frac{H_{a,1} - H_{б,1}}{n^2 G_{б,1}^2 - n^2 G_{a,1}^2} = \frac{S_{\phi,1}}{n^2}, \quad (3.44)$$

В случае, когда характеристики двух параллельно работающих насосов различны:

$$S_{\phi,gr} = \frac{H_a - H_б}{(G_{б,1} + G_{б,2})^2 - (G_{a,1} + G_{a,2})^2}, \quad (3.45)$$

где $G_{б,1}$, $G_{б,2}$ – соответственно подачи воды первым и вторым насосами при $H_б$; $G_{a,1}$, $G_{a,2}$ – соответственно подачи воды первым и вторым насосами при H_a .

$$H_{\phi,gr} = -H_a - (G_{a,1} + G_{a,2})^2 S_{\phi,gr} = H_б - (G_{б,1} + G_{б,2})^2 S_{\phi,gr}. \quad (3.46)$$

Аналогичным способом можно определить $H_{\phi.gr}$ и $S_{\phi.gr}$ и для большего числа параллельно работающих насосов с разными характеристиками.

Для группы из n последовательно работающих насосов с одинаковыми характеристиками их общий напор:

$$H_{gr} = nH_1, \quad (3.47)$$

где H_1 – напор, развиваемый каждым насосом при заданном расходе, м.

$$H_{\phi.gr} = nH_{\phi.1}, \quad S_{\phi.gr} = nS_{\phi.1}, \quad (3.48)$$

$$H_{gr} = H_{\phi.gr} - G^2 n S_{\phi.1} = n(H_{\phi.1} - G^2 S_{\phi.1}) = n H_{\phi.1}. \quad (3.49)$$

Для двух насосов работающих последовательно их фиктивное сопротивление определяется следующим образом:

$$S_{\phi.gr} = \frac{(H'_2 + H''_2) - (H'_1 + H''_1)}{G_1^2 - G_2^2}, \quad (3.50)$$

где H'_2, H''_2 – соответственно напор, развиваемый первым и вторым насосом при подаче расхода G_2 ; H'_1, H''_1 – соответственно напор, развиваемый первым и вторым насосом при подаче расхода G_1 .

$$H_{\phi.gr} = H'_{\phi} + H''_{\phi} = (H'_1 + H''_1) + G_1^2, \quad S_{\phi.gr} = (H'_2 + H''_2) + G_2^2 S_{\phi.gr}. \quad (3.51)$$

Модель определения значения свойства «коэффициент полезного действия» для элемента информационного объекта «центробежный насос». Коэффициент полезного действия (КПД) насосного агрегата η может быть определен следующим образом [48]:

$$\eta = \frac{G(H_0 + h)}{102N}, \quad (3.52)$$

где G – подача; H_0 – высота всасывания; h – напор; N – мощность двигателя.

Количество одновременно работающих насосов на насосной станции изменяется в зависимости от режима водопотребления. Общий КПД насосных установок зависит от числа одновременно работающих агрегатов и поэтому должен определяться применительно к рассматриваемому режиму насосной станции. КПД совместно работающих агрегатов вычисляются по формулам:

– при параллельной работе агрегатов

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i}, \quad (3.53)$$

– при последовательной работе агрегатов

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{\sum_{i=1}^n \eta_i}, \quad (3.54)$$

где G_i – подача i -го насоса; H_i – напор, развиваемый i -м насосом; η_i – КПД i -го насоса; n – количество насосов в установке.

Для определения значений других свойств информационного объекта трубопроводной системы нами использованы соответствующие известные аналитические модели [34, 48, 91–92, 95, 108, 122].

3.3.2. Реализация аналитических моделей для определения свойств элементов информационного объекта

Рассмотрим реализацию аналитических моделей для определения отдельных свойств для небольшого фрагмента водопроводной сети на участке от источника водоснабжения до отдельных потребителей, территориально распределенных в северной части г. Тамбова. Трехмерная модель ее приведена на рис. 3.7. Схема фрагмента водопроводной сети (от источника водоснабжения до потребителей) показана на рис. 3.14. Результаты расчетов, выполненных с использованием аналитических моделей (3.1) – (3.54) приведены в табл. 3.8 – 3.11.

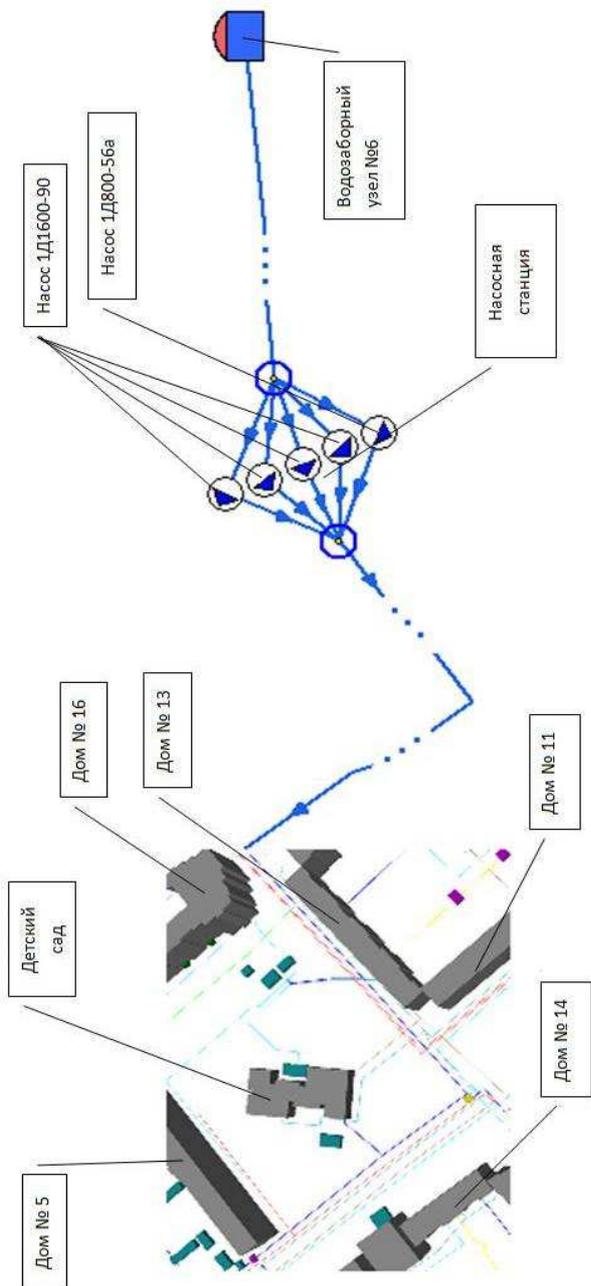


Рис. 3.14. Схема фрагмента водопроводной сети (от водозаборного узла до потребителей)

3.8. Значения свойств элемента «потребитель»

Наименование элемента	Наименование свойства	Значение свойства
Дом № 16	Геодезическая отметка, м	171,26
	Расчетный расход воды, л/с	0,375
	Минимальный напор воды, м	37
	Текущий расход воды, л/с	0,375
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	89,099
Дом № 14	Геодезическая отметка, м	170,13
	Расчетный расход воды, л/с	0,14
	Минимальный напор воды, м	50
	Текущий расход воды, л/с	0,14
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	90,229
Дом № 5	Геодезическая отметка, м	170,11
	Расчетный расход воды, л/с	0,42
	Минимальный напор воды, м	37
	Текущий расход воды, л/с	0,42
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	90,249
Дом № 11	Геодезическая отметка, м	168,61
	Расчетный расход воды, л/с	0,375
	Минимальный напор воды, м	37
	Текущий расход воды, л/с	0,375
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	91,749
Дом № 13	Геодезическая отметка, м	168,64
	Расчетный расход воды, л/с	0,5
	Минимальный напор воды, м	37
	Текущий расход воды, л/с	0,5
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	91,719
Дом № 12	Геодезическая отметка, м	167,11
	Расчетный расход воды, л/с	0,42
	Минимальный напор воды, м	25
	Текущий расход воды, л/с	0,42
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	93,249

3.9. Значения свойств элемента «колодец»

Наименование элемента	Наименование свойства	Значение свойства
Колодец № 1	Геодезическая отметка, м	166,1
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	94,259
Колодец № 2	Геодезическая отметка, м	168,11
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	92,249
Колодец № 3	Геодезическая отметка, м	166,34
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	94,019
Колодец № 4	Геодезическая отметка, м	166,1
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	94,259
Колодец № 5	Геодезическая отметка, м	164,7
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	95,659
Колодец № 6	Геодезическая отметка, м	164,7
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	95,659
Колодец № 7	Геодезическая отметка, м	164,92
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	95,439
Колодец № 8	Геодезическая отметка, м	164,92
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	95,439
Колодец № 9	Геодезическая отметка, м	165,44
	Полный напор, м	260,359
	Напор, м	94,919

3.10. Значения свойств элемента «центробежный насос»

Наименование элемента	Наименование свойства	Значение свойства
Насос № 1	Геодезическая отметка, м	167,43
	Марка насоса	1Д1600-90а
	Текущий расход воды, л/с	432,132
	Полный напор на выходе, м	260,408
	Полный напор на входе, м	188,27
	Напор на входе, м	20,84
	Напор на выходе, м	92,978
	Частота вращения насоса, об/мин	1450
	Мощность электромотора, кВт	400
Насос № 2	Геодезическая отметка, м	167,43
	Марка насоса	1Д1600-90а
	Текущий расход воды, л/с	432,132
	Полный напор на выходе, м	260,408
	Полный напор на входе, м	188,27
	Напор на входе, м	20,84
	Напор на выходе, м	92,978
	Частота вращения насоса, об/мин	1450
	Мощность электромотора, кВт	400
Насос № 3	Геодезическая отметка, м	167,43
	Марка насоса	1Д800-56
	Текущий расход воды, л/с	644,457
	Полный напор на выходе, м	260,252
	Полный напор на входе, м	188,426
	Напор на входе, м	20,996
	Напор на выходе, м	92,822
	Частота вращения насоса, об/мин	1450
	Мощность электромотора, кВт	200
Насос № 4	Геодезическая отметка, м	167,43
	Марка насоса	1Д1600-90а
	Текущий расход воды, л/с	432,132
	Полный напор на выходе, м	260,408
	Полный напор на входе, м	188,27
	Напор на входе, м	20,84
	Напор на выходе, м	92,978
	Частота вращения насоса, об/мин	1450
	Мощность электромотора, кВт	400

3.11. Значения свойств элемента «участок водопроводной сети»

Наименование элемента	Наименование свойства	Значение свойства
Участок № 1	Внутренний диаметр трубы, м	0,2
	Шероховатость, мм	2
	Коэффициент местных сопротивлений	0,1
	Заращение трубопровода, мм	2
	Расход воды на участке, л/с	0,375
	Расход воды на участке, м ³ /час	1,35
	Скорость движения воды, м/с	0,0124
	Материал трубопровода	Чугун
Участок № 2	Внутренний диаметр трубы, м	0,2
	Шероховатость, мм	2
	Коэффициент местных сопротивлений	0,1
	Заращение трубопровода, мм	2
	Расход воды на участке, л/с	0,42
	Расход воды на участке, м ³ /час	1,51
	Скорость движения воды, м/с	0,0139
	Материал трубопровода	Чугун
Участок № 3	Внутренний диаметр трубы, м	0,2
	Шероховатость, мм	2
	Коэффициент местных сопротивлений	0,1
	Заращение трубопровода, мм	2
	Расход воды на участке, л/с	1,92
	Расход воды на участке, м ³ /час	6,91
	Скорость движения воды, м/с	0,0636
	Материал трубопровода	Чугун
Участок № 4	Внутренний диаметр трубы, м	0,3
	Шероховатость, мм	2
	Коэффициент местных сопротивлений	0,1
	Заращение трубопровода, мм	2
	Расход воды на участке, л/с	0,56
	Расход воды на участке, м ³ /час	2,02
	Скорость движения воды, м/с	0,0081
	Материал трубопровода	Чугун

3.3.3. Информационно-логические модели для определения значений свойств элементов информационного объекта

Как было отмечено выше, для определения значений отдельных свойств информационного объекта трубопроводной системы необходимо использование информационно-логических моделей (ИЛМ) поддержки принятия решений.

В разделе 2.4 нами предложен вид ИЛМ поддержки принятия решений для обеспечения режимов нормального функционирования водопроводных и канализационных систем. Конкретный вид ИЛМ рассмотрим на примерах определения значений свойств отдельных элементов информационного объекта трубопроводной системы.

Модель определения значения свойств «диагноз текущего состояния» и «рецепт устранения неисправности» для элемента «насосный агрегат». Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по устранению неполадок в работе насосных агрегатов. Они собраны специалистами по прикладным знаниям (экспертами) [65] и нами в процессе контактов со специалистами по обслуживанию оборудования. Для этого будем использовать множества данных о состоянии насосов $S_{\text{насоса}}$, возможных причинах неисправностей $PR_{\text{насоса}}$, способах их устранения $D_{\text{насоса}}$ и соответствующей стоимости работ $ST_{\text{насоса}}$:

$$S_{\text{насоса}} = \{s_{\text{насоса},1}, \dots, s_{\text{насоса},i}, \dots, s_{\text{насоса},I_H}\}, \quad i = \overline{1, I_H}; \quad (3.55)$$

$$PR_{\text{насоса}} = \{pr_{\text{насоса},1}, \dots, pr_{\text{насоса},j}, \dots, pr_{\text{насоса},J_H}\}, \quad j = \overline{1, J_H}; \quad (3.56)$$

$$D_{\text{насоса}} = \{d_{\text{насоса},1}, \dots, d_{\text{насоса},k}, \dots, d_{\text{насоса},K_H}\}, \quad i = \overline{1, K_H}; \quad (3.57)$$

$$ST_{\text{насоса}} = \{st_{\text{насоса},1}, \dots, st_{\text{насоса},k}, \dots, st_{\text{насоса},K_H}\}, \quad i = \overline{1, K_H}; \quad (3.58)$$

Примеры этих данных приведены в табл. 3.12 – 3.14, а примеры правил определения значений свойств «диагноз текущего состояния» и «рецепт устранения неисправности» для элемента «насосный агрегат» – в табл. 3.15 – 3.16.

Модель определения значения свойств «наименование марки» для элемента «насосный агрегат». Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по выбору марок насосных агрегатов. В настоящее время широко используются насосные агрегаты следующих серий: D – центробежные горизонтальные сетевые; S – центробежные самовсасывающие; R – шестеренчатые и др. Для этого используем множества данных о категориях насосов $TIP_{\text{насоса}}$ и параметров, по которым выбираются насосы данной серии $P_{\text{насоса}}$:

$$TIP_{\text{насоса}} = \{tip_{\text{насоса},1}, \dots, tip_{\text{насоса},i}, \dots, tip_{\text{насоса},I_H}\}, \quad i = \overline{1, I_H};$$

$$P_{\text{насоса}} = \{p_{\text{насоса},1}, \dots, p_{\text{насоса},j}, \dots, p_{\text{насоса},I_H}\}, \quad j = \overline{1, I_H}.$$

Примеры этих данных приведены в табл. 3.17 – 3.18, а примеры правил определения значений свойств «наименование марки» для элемента «насосный агрегат» – в табл. 3.19.

3.12. Возможные состояния насосного агрегата

№	Наименование
1	$s_{\text{насоса},1}$ = «насос не работает»
2	$s_{\text{насоса},2}$ = «насос не всасывает»
3	$s_{\text{насоса},3}$ = «недостаточное нагнетание»
4	$s_{\text{насоса},4}$ = «неравномерная подача»
5	$s_{\text{насоса},5}$ = «шум при работе насоса»
6	$s_{\text{насоса},6}$ = «насос останавливается»
7	$s_{\text{насоса},7}$ = «поврежден статор»
8	$s_{\text{насоса},8}$ = «поврежден ротор»
9	$s_{\text{насоса},9}$ = «протекают уплотнения»
10	$s_{\text{насоса},10}$ = «низкое давление нагнетания»
...	...

3.13. Возможные причины неисправностей насосного агрегата

№	Наименование
1	$p_{г\text{насоса},1}$ = «новые статор и ротор слипаются»
2	$p_{г\text{насоса},2}$ = «поврежден электрический контакт»
3	$p_{г\text{насоса},3}$ = «чрезмерное давление нагнетания»
4	$p_{г\text{насоса},4}$ = «неизвестное вещество в насосе»
5	$p_{г\text{насоса},5}$ = «высокая температура, деформация статора»
6	$s_{\text{насоса},6}$ = «статор из неподходящего материала»
7	$p_{г\text{насоса},7}$ = «слишком большая грануляция продукта»
8	$p_{г\text{насоса},8}$ = «отложение продукта при остановке насоса»
9	$p_{г\text{насоса},9}$ = «просачивание воздуха на подаче»

Продолжение табл. 3.13

№	Наименование
10	$p_{г\text{насоса},10}$ = «затрудненное всасывание»
11	$p_{г\text{насоса},11}$ = «всасывание воздуха через уплотнение или сальник»
12	$p_{г\text{насоса},12}$ = «слишком низкая скорость»
13	$p_{г\text{насоса},13}$ = «неправильное направление вращения»
14	$p_{г\text{насоса},14}$ = «высота столба жидкости над всасывающим патрубком ниже требуемого»
15	$p_{г\text{насоса},15}$ = «насос работает в сухом режиме»
16	$p_{г\text{насоса},16}$ = «статор неисправен = произошло его обгорание»
17	$p_{г\text{насоса},17}$ = «поврежден статор, проверить резиновое покрытие»
18	$p_{г\text{насоса},18}$ = «поврежден ротор»
19	$p_{г\text{насоса},19}$ = «дефективный соединительный вал»
20	$p_{г\text{насоса},20}$ = «насос несоосный с упругим сочленением»
...	...

3.14. Возможные действия по устранению неисправностей насосного агрегата

№	Наименование
1	$d_{\text{насоса},1}$ = «заполнить насос подходящим продуктом, глицерином»
2	$d_{\text{насоса},2}$ = «проверить электрическое подключение согласно нормативам»
3	$d_{\text{насоса},3}$ = «измерить давление манометром и сравнить с паспортными данными»
4	$d_{\text{насоса},4}$ = «удалить неизвестное вещество и заменить поврежденные детали»
5	$d_{\text{насоса},5}$ = «установить ротор меньшего размера»

6	$d_{\text{насоса},6}$ = «заменить резиновую выстилку статора»
7	$d_{\text{насоса},7}$ = «установить решетку на подаче»
8	$d_{\text{насоса},8}$ = «очистить насос»

Продолжение табл. 3.14

№	Наименование
9	$d_{\text{насоса},9}$ = «повысить уровень жидкости на подаче, чтобы предотвратить всасывание воздуха»
10	$d_{\text{насоса},10}$ = «проверить уплотнения и тщательно затянуть стыки трубопроводов»
11	$d_{\text{насоса},11}$ = «затянуть или заменить сальник; если используется механическое уплотнение, тщательно очистить его или заменить при необходимости»
12	$d_{\text{насоса},12}$ = «увеличить обороты»
13	$d_{\text{насоса},13}$ = «переделать электрические подключения»
14	$d_{\text{насоса},14}$ = «увеличить давление на входе за счет опускания насоса и снизить температуру жидкости на входе»
15	$d_{\text{насоса},15}$ = «заполнить насос, смонтировать устройства, предотвращающие работу в сухом режиме»
16	$d_{\text{насоса},16}$ = «заменить статор»
17	$d_{\text{насоса},17}$ = «заменить статор или при необходимости заменить резиновую выстилку статора»
18	$d_{\text{насоса},18}$ = «заменить ротор и установить причину, которая может заключаться в абразивности, коррозии или кавитации»
19	$d_{\text{насоса},19}$ = «заменить изношенные детали»
20	$d_{\text{насоса},20}$ = «выставить насос и упругое сочленение со-ОСНО»
...	...

3.15. Примеры правил по определению значения свойства «диагноз текущего состояния»

№	Условие	Следствие
1	$s_{\text{насоса},1} \&^* s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},1}$
2	$s_{\text{насоса},1} \& s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},2}$
3	$s_{\text{насоса},3} \& s_{\text{насоса},4} \& s_{\text{насоса},7} \& s_{\text{насоса},8} \& s_{\text{насоса},9}$	$Pr_{\text{насоса},3}$
4	$s_{\text{насоса},1} \& s_{\text{насоса},3} \& s_{\text{насоса},6} \& s_{\text{насоса},7}$	$Pr_{\text{насоса},4}$

№	Условие	Следствие
5	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,2} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,8} \& s_{насоса,9}$	$pr_{насоса,5}$
6	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,2} \& s_{насоса,7}$	$pr_{насоса,6}$
7	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,5} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,8}$	$pr_{насоса,7}$
8	$s_{насоса,1} \& s_{насоса,2} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7}$ $\& s_{насоса,8} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,8}$
9	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,5}$	$pr_{насоса,9}$
10	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,5}$	$pr_{насоса,10}$
11	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,5}$	$pr_{насоса,11}$
12	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,12}$
13	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,9}$	$pr_{насоса,13}$
14	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,5} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,14}$
15	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,6} \& s_{насоса,7}$ $\& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,15}$
16	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,16}$
17	$s_{насоса,2} \& s_{насоса,3} \& s_{насоса,4} \& s_{насоса,7} \& s_{насоса,10}$	$pr_{насоса,17}$
...

* Здесь и ниже & обозначает логическое «и».

3.16. Примеры правил по определению значения свойства «рецепт устранения неисправности»

№	Условие	Следствие	Стоимость работ
1	$pr_{насоса,1}$	$d_{насоса,1}$	$st_{насоса,1}$
2	$pr_{насоса,2}$	$d_{насоса,2}$	$st_{насоса,2}$
3	$pr_{насоса,3}$	$d_{насоса,3}$	$st_{насоса,3}$
4	$pr_{насоса,4}$	$d_{насоса,4}$	$st_{насоса,4}$
5	$pr_{насоса,5}$	$d_{насоса,5}$	$st_{насоса,5}$
6	$pr_{насоса,6}$	$d_{насоса,6}$	$st_{насоса,6}$

Продолжение табл. 3.16

№	Условие	Следствие	Стоимость работ
7	$pr_{насоса,7}$	$d_{насоса,7}$	$st_{насоса,7}$
8	$pr_{насоса,8}$	$d_{насоса,8}$	$st_{насоса,8}$
9	$pr_{насоса,9}$	$d_{насоса,9}$	$st_{насоса,9}$
10	$pr_{насоса,10}$	$d_{насоса,10}$	$st_{насоса,10}$
11	$pr_{насоса,11}$	$d_{насоса,11}$	$st_{насоса,11}$
12	$pr_{насоса,12}$	$d_{насоса,12}$	$st_{насоса,12}$
13	$pr_{насоса,13}$	$d_{насоса,13}$	$st_{насоса,13}$

14	$p_{насоса,14}^r$	$d_{насоса,14}$	$st_{насоса,14}$
15	$p_{насоса,15}^r$	$d_{насоса,15}$	$st_{насоса,15}$
16	$p_{насоса,16}^r$	$d_{насоса,16}$	$st_{насоса,16}$
17	$p_{насоса,17}^r$	$d_{насоса,17}$	$st_{насоса,17}$
18	$p_{насоса,18}^r$	$d_{насоса,18}$	$st_{насоса,18}$
19	$p_{насоса,19}^r$	$d_{насоса,19}$	$st_{насоса,19}$
20	$p_{насоса,20}^r$	$d_{насоса,20}$	$st_{насоса,20}$
...

3.17. Возможные значения параметров для подбора насосов (m – вязкость (сантистокс), q – производительность (куб.м/час))

№	Наименование
1	$p_{насоса,1} = \langle m = 200, q = 0,8 \rangle$
2	$p_{насоса,2} = \langle m = 200, q = 1 \rangle$
3	$p_{насоса,3} = \langle m = 1000, q = 0,8 \rangle$
4	$p_{насоса,4} = \langle m = 1000, q = 1 \rangle$
5	$p_{насоса,5} = \langle m = 200, q = 4 \rangle$
6	$p_{насоса,6} = \langle m = 200, q = 5 \rangle$
7	$p_{насоса,7} = \langle m = 1000, q = 3,15 \rangle$
8	$p_{насоса,8} = \langle m = 1000, q = 4 \rangle$
9	$p_{насоса,9} = \langle m = 200, q = 8 \rangle$

Продолжение табл. 3.17

№	Наименование
10	$p_{насоса,10} = \langle m = 200, q = 10 \rangle$
11	$p_{насоса,11} = \langle m = 1000, q = 6,3 \rangle$
12	$p_{насоса,12} = \langle m = 1000, q = 8 \rangle$
13	$p_{насоса,13} = \langle m = 200, q = 16 \rangle$
14	$p_{насоса,14} = \langle m = 200, q = 20 \rangle$
15	$p_{насоса,15} = \langle m = 1000, q = 12,5 \rangle$
16	$p_{насоса,16} = \langle m = 1000, q = 16 \rangle$
17	$p_{насоса,17} = \langle m = 200, q = 25 \rangle$
18	$p_{насоса,18} = \langle m = 200, q = 31,5 \rangle$
19	$p_{насоса,19} = \langle m = 1000, q = 20 \rangle$
20	$p_{насоса,20} = \langle m = 1000, q = 25 \rangle$
21	$p_{насоса,21} = \langle m = 200, q = 50 \rangle$
22	$p_{насоса,22} = \langle m = 200, q = 63 \rangle$
23	$p_{насоса,23} = \langle m = 1000, q = 40 \rangle$
24	$p_{насоса,24} = \langle m = 1000, q = 50 \rangle$
25	$p_{насоса,25} = \langle m = 200, q = 80 \rangle$
...	...

3.18. Возможные типы насосных агрегатов

№	Наименование
1	$tip_{насоса,1} = \text{«Насос марки R-35»}$
2	$tip_{насоса,2} = \text{«Насос марки R-40»}$
3	$tip_{насоса,3} = \text{«Насос марки R-50»}$
4	$tip_{насоса,4} = \text{«Насос марки R-65»}$
5	$tip_{насоса,5} = \text{«Насос марки R-80»}$
6	$tip_{насоса,6} = \text{«Насос марки R-105»}$
7	$tip_{насоса,7} = \text{«Насос марки R-151»}$
8	$tip_{насоса,8} = \text{«Насос марки R-180»}$
9	$tip_{насоса,9} = \text{«Насос марки R-200»}$
10	$tip_{насоса,10} = \text{«Насос марки R-250»}$
...	...

3.19. Примеры правил по подбору насосных агрегатов

№	Условие	Следствие
1	$p_{насоса,1} \& p_{насоса,2} \& p_{насоса,3} \& p_{насоса,4}$	$tip_{насоса,1}$
2	$p_{насоса,5} \& p_{насоса,6} \& p_{насоса,7} \& p_{насоса,8}$	$tip_{насоса,2}$
3	$p_{насоса,9} \& p_{насоса,10} \& p_{насоса,11} \& p_{насоса,12}$	$tip_{насоса,3}$
4	$p_{насоса,13} \& p_{насоса,14} \& p_{насоса,15} \& p_{насоса,16}$	$tip_{насоса,4}$
5	$p_{насоса,17} \& p_{насоса,18} \& p_{насоса,19} \& p_{насоса,20}$	$tip_{насоса,5}$
6	$p_{насоса,21} \& p_{насоса,22} \& p_{насоса,23} \& p_{насоса,24}$	$tip_{насоса,6}$
7	$p_{насоса,25} \& p_{насоса,26} \& p_{насоса,27} \& p_{насоса,28}$	$tip_{насоса,7}$
8	$p_{насоса,29} \& p_{насоса,30} \& p_{насоса,31} \& p_{насоса,32}$	$tip_{насоса,8}$
9	$p_{насоса,33} \& p_{насоса,34} \& p_{насоса,35} \& p_{насоса,36}$	$tip_{насоса,9}$
10	$p_{насоса,37} \& p_{насоса,38} \& p_{насоса,39} \& p_{насоса,40}$	$tip_{насоса,10}$
...

Модель определения значения свойств «наименование марки» для элемента «трубопровод». Рассмотрим правила, на основе которых должны приниматься решения по определению марок сталей и толщин стенок труб, используемых в водопроводных системах. Для этого используем множества данных о температуре наружного воздуха $T_{воздуха}$, классе по степени ответственности трубопровода $K_{труб}$,

нормативных документов $H_{\text{гост}}$, марок сталей $M_{\text{сталь}}$, и внутреннего диаметра трубы $D_{\text{труб}}$ а также стоимости насосного агрегата $ST_{\text{агр}}$ и стоимости одного погонного метра труб $ST_{\text{труб}}$:

$$T_{\text{воздух}} = \{t_{\text{воздух},1}, \dots, t_{\text{воздух},i}, \dots, t_{\text{воздух},n}\}, i = 1, \dots, I_{\text{воздух}};$$

$$K_{\text{труб}} = \{k_{\text{труб},1}, \dots, k_{\text{труб},j}, \dots, k_{\text{труб},l_{\text{труб}}}\}, j = 1, \dots, I_{\text{труб}};$$

$$H_{\text{гост}} = \{H_{\text{гост},1} \dots H_{\text{гост},q} \dots H_{\text{гост},l_{\text{гост}}}\}, q = 1, \dots, I_{\text{гост}};$$

$$M_{\text{сталь}} = \{M_{\text{сталь},1} \dots M_{\text{сталь},e} \dots M_{\text{сталь},l_{\text{сталь}}}\}, e = 1, \dots, I_{\text{сталь}};$$

$$D_{\text{труб}} = \{d_{\text{труб},1} \dots d_{\text{труб},l} \dots d_{\text{труб},l_{\text{труб}}}\}, l = 1, \dots, I_{\text{труб}};$$

$$ST_{\text{труб}} = \{st_{\text{труб},1} \dots st_{\text{труб},l} \dots st_{\text{труб},l_{\text{труб}}}\}, l = 1, \dots, I_{\text{труб}};$$

$$ST_{\text{агр}} = \{st_{\text{агр},1} \dots st_{\text{агр},l} \dots st_{\text{агр},l_{\text{агр}}}\}, l = 1, \dots, I_{\text{агр}}.$$

Примеры этих данных приведены в табл. 3.20 – 3.24, а примеры правил определения в табл. 3.25.

3.20. Возможные интервалы температур ($t_{\text{воздух}}$, °C)

№	Наименование
1	$t_{\text{воздух},1} = \langle\langle \geq -10 \rangle\rangle$
2	$t_{\text{воздух},2} = \langle\langle \geq -20 \rangle\rangle$
3	$t_{\text{воздух},3} = \langle\langle \geq -30 \rangle\rangle$
4	$t_{\text{воздух},4} = \langle\langle \geq -40 \rangle\rangle$
5	$t_{\text{воздух},5} = \langle\langle < -40 \rangle\rangle$

3.21. Класс по степени ответственности трубопровода

№	Наименование
1	$k_{\text{труб},1} = \langle\langle 1 \rangle\rangle$
2	$k_{\text{труб},2} = \langle\langle 2 \rangle\rangle$
3	$k_{\text{труб},3} = \langle\langle 3 \rangle\rangle$

3.22. Возможные интервалы диаметров трубопроводов ($d_{\text{труб},1}$, мм)

№	Наименование
1	$d_{\text{труб},1} = \langle\langle < 530 \rangle\rangle$
2	$d_{\text{труб},2} = \langle\langle 426 \dots 1620 \rangle\rangle$
3	$d_{\text{труб},3} = \langle\langle < 1620 \rangle\rangle$
4	$d_{\text{труб},4} = \langle\langle > 0 \rangle\rangle$
5	$d_{\text{труб},5} = \langle\langle 219 \dots 426 \rangle\rangle$
6	$d_{\text{труб},6} = \langle\langle 530 \dots 1420 \rangle\rangle$
7	$d_{\text{труб},7} = \langle\langle 219 \dots 530 \rangle\rangle$
8	$d_{\text{труб},8} = \langle\langle 820 \dots 1220 \rangle\rangle$
...	...

3.23. Виды нормативных документов

№	Наименование
1	$H_{\text{гост},1} = \langle\langle \text{ГОСТ 10705-80}^*, \text{ сортамент по ГОСТ 10704-76}^* \rangle\rangle$
2	$H_{\text{гост},2} = \langle\langle \text{ГОСТ 10706-76}^* \text{ сортамент по ГОСТ 10704-76}^* \rangle\rangle$
3	$H_{\text{гост},3} = \langle\langle \text{ГОСТ 8696-74}^* \rangle\rangle$
4	$H_{\text{гост},4} = \langle\langle \text{ТУ 102-39-84} \rangle\rangle$

5	Н _{Гост,5} = «ТУ 14-3-377-75»
6	Н _{Гост,6} = «ТУ 14-3-1209-83»
7	Н _{Гост,7} = «ТУ 14-3-684-77»
8	Н _{Гост,8} = «ТУ 14-3-943-80»
9	Н _{Гост,9} = «ТУ 14-3-721-78»
...	...

3.24. Возможные марки сталей с указанием толщины стенки

№	Наименование
1	М _{сталь,1} = «БСтЗкп (<8), СтЗкп3(<8), БСтЗпс (>8), СтЗпс3 (>8)»
2	М _{сталь,2} = «ВСтЗпс2»
3	М _{сталь,3} = «ВСтЗпс3,20сп»
4	М _{сталь,4} = «ВСтЗсп,20сп»
5	М _{сталь,5} = «10сп,15сп,20сп»
6	М _{сталь,6} = «ВСтЗкп2 (<8), ВСтЗпс2 (>8)»
7	М _{сталь,7} = «ВСтЗпс2 (<10), ВСтЗсп2 (>10)»
8	М _{сталь,8} = «ВСтЗсп3-4»
9	М _{сталь,9} = «ВСтЗсп4»
10	М _{сталь,10} = «ВСтЗ категории 2-3,ВСтЗкп (<8), типа 17Г1С»
11	М _{сталь,11} = «ВСтЗ категории 2-3»
12	М _{сталь,12} = «Типа 17Г1С, ВСтЗсп3»
13	М _{сталь,13} = «Типа 17Г1С»
14	М _{сталь,14} = «Типа 17Г1С»
15	М _{сталь,15} = «БСтЗ (<5),СтЗкп (<8), СтЗпс3 (>8)»
16	М _{сталь,16} = «СтЗпс3 (>8)»
17	М _{сталь,17} = «ВСтЗпс2»
18	М _{сталь,18} = «ВСтЗсп2»
19	М _{сталь,19} = «ВСтЗсп»
20	М _{сталь,20} = «ВСтЗсп»
21	М _{сталь,21} = «ВСтЗсп, 20сп»
22	М _{сталь,22} = «ВСтЗсп, 20сп»
23	М _{сталь,23} = «20сп»
24	М _{сталь,24} = «ВСт2пс, ВСтЗпс 1-4»
25	М _{сталь,25} = «ВСтЗпс2, типа 17Г1С»
...	...

3.25. Примеры правил по определению марок сталей и толщин стенок труб

№	Условие	Следствие
1	$t_{\text{воздух,1}} \& \text{Н}_{\text{Гост,1}} \& k_{\text{труб,1}} \& k_{\text{труб,2}} \&$	М _{сталь,1}

	$d_{\text{труб},1}$	
2	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},1} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},1}$	Мсталь,2
3	$t_{\text{воздух},3} \& N_{\text{Гост},1} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},1}$	Мсталь,3
4	$t_{\text{воздух},1} \& N_{\text{Гост},2} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},3} \& d_{\text{труб},2}$	Мсталь,6
5	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},2} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},3} \& d_{\text{труб},2}$	Мсталь,7
6	$t_{\text{воздух},1} \& N_{\text{Гост},3} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},3}$	Мсталь,10
7	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},3} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},3}$	Мсталь,11
8	$t_{\text{воздух},1} \& N_{\text{Гост},4} \& k_{\text{труб},2} \& k_{\text{труб},3}$	Мсталь,15
9	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},4} \& k_{\text{труб},2} \& k_{\text{труб},3}$	Мсталь,16
10	$t_{\text{воздух},3} \& N_{\text{Гост},4} \& k_{\text{труб},2} \& k_{\text{труб},3}$	Мсталь,17
11	$t_{\text{воздух},1} \& N_{\text{Гост},6} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},6}$	Мсталь,24
12	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},6} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},6}$	Мсталь,25
13	$t_{\text{воздух},3} \& N_{\text{Гост},6} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},6}$	Мсталь,26
14	$t_{\text{воздух},1} \& N_{\text{Гост},8} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},8}$	Мсталь,34
15	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},8} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},8}$	Мсталь,35
16	$t_{\text{воздух},3} \& N_{\text{Гост},8} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},2} \& d_{\text{труб},8}$	Мсталь,36
17	$t_{\text{воздух},1} \& N_{\text{Гост},9} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},3} \& d_{\text{труб},9}$	Мсталь,37
18	$t_{\text{воздух},2} \& N_{\text{Гост},9} \& k_{\text{труб},1} \& k_{\text{труб},3} \& d_{\text{труб},9}$	Мсталь,38
...

Апробация предложенных ИЛМ и ПМ, реализованных в АИС ППР, осуществлена на примере задачи оперативного реагирования на аварийные ситуации, возникающие на отдельных участках водопроводной сети г. Тамбова.

3.3.4. Реализация информационно-логических моделей для определения свойств элементов информационного объекта

Для реализации выше приведенных ИЛМ нами использована программная среда экспертной системы *CLIPS*. *CLIPS* включает полноценный объектно-ориентированный язык *COOL* для написания экспертных систем [117, 121].

Протоколы выполнения отдельных модулей прототипа экспертной системы приведены ниже.

```

*****
***** ПОДСИСТЕМА ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ И *****
***** СПОСОБОВ ИХ УСТРАНЕНИЯ ДЛЯ НАСОСНЫХ *****
***** АГРЕГАТОВ *****
*****

```

Для поиска и устранения возможных неисправностей укажите какие из перечисленных ниже пунктов подходят в Вашем случае:

- A: Насос не работает
- B: Насос не всасывает
- C: Недостаточное нагнетание
- D: Неравномерная подача
- E: Шум при работе насоса
- F: Насос останавливается
- G: Поврежден статор
- H: Поврежден ротор
- I: Протекают уплотнения
- J: Низкое давление нагнетания

Для подтверждения введенных данных наберите DONE.

A
E
F
G
H
DONE

Возможная причина: слишком большая грануляция продукта.
Увеличить пропорцию жидкости. Установить решетку на подаче.

CLIPS>

```
*****  
*****  ПОДСИСТЕМА ВЫБОРА НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ  *****  
*****
```

Введите серию насосного агрегата (S, R, D, ...):

R – шестеренчатые насосы.

Введите производительность насосного агрегата (куб.м/час):

200.

Введите значение вязкости жидкости (сантистокс):

200.

Заданным значениям производительности и вязкости соответствует насос марки R-200.

Стоимость насоса (в ценах 2009 г.) = 9941 руб.

CLIPS>

```
*****  
*****  ПОДСИСТЕМА ВЫБОРА КАТЕГОРИЙ И МАРОК  *****  
*****  СТАЛЕЙ ТРУБ  *****  
*****
```

Введите значение диаметра трубы (мм):

530.

Введите класс по степени ответственности трубопровода (1, 2, 3):

1.

Введите расчетную температуру наружного воздуха (град. С):

-30.

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МАРКИ СТАЛЕЙ

Вариант 1

ГОСТ 10706–76 сортамент по ГОСТ 10704–76
ВСтЗсп4-4
Стоимость (в ценах 2009 г.) 1 кг = 45 руб.

Вариант 2
ГОСТ 10706–76 сортамент по ГОСТ 10704–76
ВСтЗсп4
Стоимость (в ценах 2009 г.) 1 кг = 50 руб.

Вариант 3
ГОСТ 8696–74
ВСтЗсп3 типа 17Г1С
Стоимость (в ценах 2009 г.) 1 кг = 80 руб.

Экономичный вариант 1.

CLIPS>

3.4. ПРОЦЕДУРНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

Развитие водопроводных и тепловых систем, внедрение энергосберегающих технологий, автоматизация жилищно-коммунального хозяйства дало толчок к расширению номенклатуры разнообразных устройств, предназначенных для управления потоками рабочей среды транспортируемой по трубопроводам. Насыщение рынка зарубежными и отечественными образцами, большое разнообразие условий, в которых работает арматура, специфичность требований, предъявляемых к ней, вопросы надежности и долговечности, наличие большого количества конструктивных типов усложняют выбор арматуры для конкретных условий эксплуатации в современных системах.

В настоящее время общепринятой является классификация трубопроводной арматуры по следующим параметрам: по способу перекрытия потока среды; по области применения; по материалу корпусных деталей; по методу управления; по функциональному назначению и т.п. На рис. 2.6 приведена классификация запорной арматуры по способу перекрытия потока среды.

Запорная арматура различных размеров и типов является стратегически важными узлами в установках, в которых используются жидкости и газы. Протечка лишь в одном из них может привести к необходимости прекращения всего процесса. Замена поврежденной арматуры является сложным и трудоемким процессом, вызывающим производственные убытки, приводящие к существенным затратам и вынуждающие компании вкладывать значительные денежные средства в запчасти, для того чтобы сократить время простоя.

При проведении ремонтных работ сетей специалистам очень часто приходится решать вопросы, связанные с заменой с трубопроводной арматуры

В разделе 2.5 нами описана процедурная модель выбора элемента трубопроводной системы. Рассмотрим ее реализацию на примере запорной арматуры. Предложенная процедурная модель автоматизированного выбора трубопроводной запорной арматуры реализована в виде комплекса программ, написанных в среде системы программирования Visual Basic с использованием СУБД MS Access.

Количественная оценка потребительско-эксплуатационных показателей арматуры получена в ходе обработки разнообразной качественной и количественной информации в соответствии с подходом, описанным в разделе 2.5. В таблице 3.26 приведен фрагмент базы данных количественных оценок потребительско-эксплуатационных показателей для отдельных типов запорной арматуры.

Проиллюстрируем реализацию процедурной модели автоматизированного выбора запорной арматуры на следующем примере. При ремонте водопроводной сети потребовалась замена трубопроводной запорной арматуры на трубопровод следующих параметров $D_y^{zad} = 200$ мм и $P_y^{zad} = 6$ кгс/см². При выборе следует учитывать следующие потребительские показатели: высокую герметичность затвора, низкое гидравлическое сопротивление, небольшое приводное усилие и невысокую цену изделия.

Для каждого из используемых критериев (стоимость, высокая герметичность затвора, низкое гидравлическое сопротивление, небольшое приводное усилие) заданы равные веса $\rho_j = 0,25$, $i = \overline{1,4}$. В конечном итоге оптимальным с позиций принятых критериев оказалась задвижка клиновья с выдвижным шпинделем фланцевая (см. рис. 3.15).

3.26. Фрагмент базы данных оценок потребительско-эксплуатационных показателей элемента трубопроводной системы (на примере арматуры)

Наименование показателя	Назначение арматуры	Тип арматуры	Оценка показателя V_m
Герметичность затвора (высокая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем шиберные	8,4
		Задвижки с не выдвижным шпинделем шланговые	9,2
		Клапаны запорные сальниковые с наружной резьбой проходные	8,2
		Клапаны обратные поверхностные	3,9
	
...
Масса (небольшая)	Запорная	Задвижки с выдвижным шпинделем клиновые двух-дисковые	0
		Задвижки с выдвижным шпинделем шиберные	6,8
		Клапаны запорные бессальниковые диафрагмовые	7,5
		Клапаны обратные безударные	8,9
	
...
Высокое давление	Запорная	Клапаны запорные сальниковые с внутренней резьбой угловые	9,4
		Клапаны запорные сальниковые с внутренней резьбой прямооточные	3,5
		Краны пробковые конические сальниковые с подъемом пробки	0,8
		Краны шаровые проходные	7,5
		Клапаны обратные подъемные	8,2
	
...

Выбор диаметра

200

Выбор давления

6

Выбор среды

жидкая и газообразная среда, природный газ

Укажите учитываемые параметры

- | | | | |
|--|-------------------------------|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 0,25 | Герметичность затвора | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Перекрытие потока при высоком перепаде давления |
| <input checked="" type="checkbox"/> 0,25 | Гидравлическое сопротивление | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Перекрытие потока при низком перепаде давления |
| <input type="checkbox"/> 0 | Масса (небольшая) | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Малощумность |
| <input type="checkbox"/> 0 | Строительная длина | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Кавитация и мгновенное парообразование |
| <input type="checkbox"/> 0 | Герметичность к внешней среде | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Цульпа |
| <input type="checkbox"/> 0 | Частое срабатывание | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Абразивные шламы |
| <input type="checkbox"/> 0 | Двухпозиционное регулирование | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Коррозионные среды |
| <input type="checkbox"/> 0 | Дросселирование | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Высокие температуры |
| <input type="checkbox"/> 0 | Регулирование | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Низкие температуры |
| <input type="checkbox"/> 0 | Суженный проход | <input checked="" type="checkbox"/> 0,25 | <input type="checkbox"/> Приводное усилие (небольшое) |
| <input checked="" type="checkbox"/> 0 | Равнопроходность арматуры | <input checked="" type="checkbox"/> 0,25 | <input type="checkbox"/> Цена (небольшая) |
| <input type="checkbox"/> 0 | Быстродействие | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Ремонтопригодность |
| <input type="checkbox"/> 0 | Высокое давление | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Стойкость установки (низкая) |
| <input type="checkbox"/> 0 | Вакуум | <input type="checkbox"/> 0 | <input type="checkbox"/> Стойкость обслуживания (низкая) |



Поиск

Наименование (обозначение) изделия

200
Задвижка клипона с выдвижным шпинделем фланцевая

Ду

200

Среда

Вода

ρ, кг/см³

6,3

Т, °С

+80

Присоединение к трубопроводу

фланцевое

Привод

Ручной, пневмопривод

Габаритные размеры

L= 180

Масса

30/55

Изготовитель

гость

80

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии описана технология поддержки принятия решений, отличающаяся применением теории иерархических систем при управлении коммунальными системами; походом к созданию единого информационного пространства территории – сферы деятельности региональных коммунальных систем; информационно-логическими и процедурными моделями поддержки принятия управленческих решений.

На базе системного анализа и методов математического моделирования разработана структура единого информационного пространства территории, охватывающей сферу деятельности службы, обеспечивающей бесперебойное функционирование водопроводных сетей сложной структуры и включающей совокупность информационных средств и ресурсов, интегрируемых в единую систему, а именно: собственно информационные ресурсы (массивы документов, базы и банки данных, все виды архивов и др.), содержащие информацию, зафиксированную на соответствующих носителях; сетевое и специальное программное обеспечение; сеть телекоммуникаций (территориально распределенную корпоративную компьютерную сеть службы «Водоканала», телекоммуникационные сети и системы специального назначения и общего пользования, сети и каналы передачи данных, средства коммутации и управления информационными потоками), а также элементов водопроводных сетей, используемых при сборе информации (термопар, манометров, расходомеров и т.д.), ее преобразовании (ЦАП и АЦП), передаче по каналам связи, реализации управляющих информационных сигналов и специального оборудования на базе автомобильного транспорта, снабженного датчиками ГЛОНАСС/GPS.

Авторами предложена пространственная геоинформационная модель территории, включающая: графические векторные и растровые изображения объектов различного назначения со степенью детализации, достаточной для их визуальной идентификации; элементы оборудования водопроводных сетей; базы атрибутивных данных для хранения символьной и цифровой информации об объектах модели, обеспечивающей реализацию механизма транзакций в АИС с использованием топологических взаимоотношений.

Разработана модель информационного объекта трубопроводной системы, представленная в виде графовой структуры фреймов и включающая сведения о составе, свойствах системы и ее элементах, а также способах задания этих свойств, позволяющая систематизировать всю информацию о реальном физическом объекте, упорядочить ее хранение на электронных носителях и обеспечить эффективную обработку.

Предложена информационно-логическая модель поддержки принятия решений деятельности службы, обеспечивающей режимы бесперебойного функционирования водопроводных систем сложной структуры, представляющая собой объединение множеств данных и продукционных правил, включающая в себя информационные массивы данных о качественных показателях воды, особенностях реализации процессов доставки воды до отдельных потребителей, технической оснащенности службы «Водоканала» и др. Отличительной чертой информационно-логической модели поддержки принятия управленческих решений при функционировании трубопроводных систем является возможность учета с помощью продукционных правил детальной совокупности взаимосвязей между всеми элементами этих систем.

Предложена процедурная модель автоматизированного выбора элементов трубопроводных систем, позволяющая потребителю выбрать оптимальный вариант решения задачи с учетом его различных требований и экспертных оценок потребительско-эксплуатационных показателей этого элемента, выполненных разными группами экспертов с применением теории нечетких множеств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н.Н. Расчет водопроводных сетей / Н.Н. Абрамов, М.М. Поспелова, М.А. Сомов. – М. : Стройиздат, 1983. – 278 с.
2. Аверкин, А.Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун, В.Б. Силов, В.Б. Тарасов ; под ред. Д.А. Поспелова. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 324 с.
3. Айзерман, М.А. Выбор вариантов. Основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. – М. : Наука, 1990. – 227 с.
4. Арматура–2000. Номенклатурный каталог-справочник по трубопроводной арматуре, выпускаемой в СНГ. – М. : ОАО «МосЦКБА», 2000. – 658 с.
5. Ахремчик, О.Л. Эвристические приемы проектирования локальных систем автоматизации / О.Л. Ахремчик. – Тверь : ТГТУ, 2006. – 160 с.
6. Баранов, Ю.Б. Программное обеспечение для обработки данных дистанционного зондирования / Ю.Б. Баранов, Ю.К. Королев, С.А. Миллер // Открытые системы. – 1998. – № 11. – С. 40 – 77.
7. Берлянт, А.М. Геоинформационное картографирование в экологических исследованиях / А.М. Берлянт // Геоинформатика : сб. статей. – М. : Изд. МГУ, 1995. – С. 38 – 40.
8. Беручашвили, Н.Л. Экспертные системы в географических исследованиях / Н.Л. Беручашвили, А.Г. Кевхвишвили // Известия ВГО. – 1989. – Т. 121. – Вып. 1. – С. 3 – 10.
9. Бугаевский, Л.М. Математическая картография / Л.М. Бугаевский. – М. : Златоуст, 1998. – 400 с.
10. Васмут, А.С. Искусственный интеллект в картографии. Состояние и перспективы развития геодезии и картографии / А.С. Васмут. – М., 1986. – С. 95 – 102.
11. Введение в теорию экспертных систем и обработку знаний. – М. : Дизайн-Про, 1995. – 225 с.
12. Волкова, Г.Д. Моделирование инженерных знаний при создании прикладных автоматизированных систем / Г.Д. Волкова, М.В. Щукин // Информационные технологии в науке, образовании и промышленности : матер. междунар. науч.-техн. конф. – Архангельск : Соломбальская типография, 2005. – С. 52 – 57.
13. Волкович, В.Л. Об одной схеме метода последовательного анализа и отсеивания вариантов / В.Л. Волкович, А.Ф. Волошин // Кибернетика. – 1978. – № 4. – С. 19 – 25.
14. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем : учебник для вузов / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2001. – 235 с.
15. Гаврилова, Т.А. Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы : учеб. пособие. – 2-е изд. / Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. – СПб. : Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Изд. дом С.- Петерб. гос. ун-та, 2008. – 488 с.
16. Гармиз, И.В. Геоинформационные технологии: принципы, международный опыт, перспективы развития / И.В. Гармиз, А.В. Кошкарев, Н.В. Межеловский и др. – М. : ВИЭМС, 1989. – 55 с.
17. Гасанов, Э.Э. Теория хранения и поиска информации / Э.Э. Гасанов, В.Б. Кудрявцев. – М. : Физматлит, 2002. – 286 с.
18. Гиляревский, Р.С. Основы информатики / Р.С. Гиляревский. – М. : Экзамен XXI, 2004. – 318 с.
19. Горохов, Д.С. Методы организации хранения данных в СУБД / Д.С. Горохов, В.В. Чернов // СУБД. – 2003. – № 3. – С. 64 – 69.
20. Громов, Ю.Ю. Моделирование и управление сложными техническими системами / Ю.Ю. Громов, А.П. Денисов, В.Г. Матвейкин. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2000. – 292 с.
21. Давыдчук, В. С. Организация геоинформационных систем для моделирования антропогенных нарушений природной среды крупных регионов / В.С. Давыдчук, В.Г. Линник, Н.Д. Чепурной // Сборник трудов ВНИИСИ. – 1988. – № 5. – С. 163 – 167.
22. Джанетто, К. Управление знаниями: Руководство по разработке и внедрению корпоративной системы управления знаниями / К. Джанетто, Э. Уиллер. – М. : Добрая книга, 2005. – 186 с.
23. Джексон, П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – СПб. : Вильямс, 2001. – 624 с.
24. Джордж, А. Численное решение больших разреженных систем уравнений / А. Джордж А., Дж. Лю. – М. : Мир, 1984. – 328 с.

25. Дмитриев, А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1988. – 192 с.
26. Дресвянников, В.А. Построение системы управления знаниями на предприятии : учеб. пособие / В.А. Дресвянников. – М. : КноРус, 2006. – 285 с.
27. Еремеев, А.В. Разработка и анализ генетических и гибридных алгоритмов для решения задач дискретной оптимизации : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. – Омск, 2000. – 16 с.
28. Зыков, А. А. Основы теории графов / А. А. Зыков. – М. : Наука, 1987. – 384 с.
29. Искусственный интеллект : в 3 кн. Кн. 1 : Системы общения и экспертные системы / под ред. Э.В. Попова. – М. : Радио и связь, 1990. – 464 с.
30. Йодан, Э. Структурное проектирование и конструирование программ / Э. Йодан. – М. : Мир, 1979. – 416 с.
31. Капралов, Е.Г. Введение в ГИС / Е.Г. Капралов, Н.В. Коновалова. – М. : ГИС-Ассоциация, 1997. – 155 с.
32. Капралов, Е.Г. Основы геоинформатики : в 2 кн. Кн. 1 : Учебное пособие для студентов Вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. ; под ред. В.С. Тикунова. – М. : Издательский Центр «Академия», 2004. – 352 с.
33. Капралов, Е.Г. Основы геоинформатики : в 2 кн. Кн. 2 : Учебное пособие для студентов Вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др. ; под ред. В.С. Тикунова. – М. : Издательский Центр «Академия», 2004. – 480 с.
34. Каталог типовой проектной документации для строительства зданий и сооружений канализации. – М., 1991. – 507 с.
35. Керов, Л.А. Экспертные системы. Инструментальные средства разработки / Л.А. Керов, А.П. Частиков, Ю.В. Юдин, В.А. Юхтенко ; под ред. Ю.В. Юдина. – Сиб. : Политехника, 1996. – 220 с.
36. Коберн, А. Быстрая разработка программного обеспечения : пер. с англ. / А. Коберн. – М. : ЛО-РИ, 2002. – 324 с.
37. Козленко, Л.Т. Проектирование информационных систем / Л.Т. Козленко // Компьютер-Пресс. – 2001. – № 9. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// www.management.com.ua/ims031.html](http://www.management.com.ua/ims031.html).
38. Козлов, М.Я. Использование информационных технологий для оценки антропогенных нагрузок на экосистемы регионов : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / М.Я. Козлов. – М., 1999. – 48 с.
39. Колчин, А.Ф. Методология разработки интеллектуальных систем / А.Ф. Колчин // Проектирование технологических машин : сб. научных трудов. – М. : МГТУ «СТАНКИН», 1997. – №7. – С. 6 – 11.
40. Корн, Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1978. – 831 с.
41. Королев, Ю.К. Общая геоинформатика. Ч. I. Теоретическая геоинформатика / Ю.К. Королев. – М. : СП ООО Дата+, 1998. – 118 с.
42. Костин, Г.В. Концепция устойчивого социально-экономического развития России / Г.В. Костин. – Воронеж, 1996. – 231с.
43. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М. : Радио и связь, 1982. – 226 с.
44. Кошкарев, А.В. Региональные геоинформационные системы / А.В. Кошкарев, В.П. Каракин. – М. : Недра, 1987. – 126 с.
45. Кузин, В.Д. Основы кибернетики / В.Д. Кузин. – М. : Энергия, 1973. – Т. 1. – 504 с.
46. Кузьмин, И.В. Оценка эффективности и оптимизация автоматических систем / И.В. Кузьмин. – М. : Сов. Радио, 1971. – 296 с.
47. Куратовский, К.С. Теория множеств / К.С. Куратовский, А.М. Мостовский. – М. : Мир, 1970. – 416 с.
48. Курганов, А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения : справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – Л. : Стройиздат, 1986. – 321 с.
49. Левашов, В.К. Устойчивое развитие общества: парадигма, модели, стратегия / В.К. Левашов. – М. : Издат. центр «Академия», 2001. – 176 с.
50. Липаев, В.В. Документирование и управление конфигурации программных средств / В.В. Липаев. – М. : Изд-во Синтег, 1998. – 212 с.

51. Лурье, И.К. Основы геоинформатики и создание ГИС. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / И.К. Лурье ; под ред. А.М. Берлянта. – М. : ООО «ИНЭКС-92», 2002. – 140 с.
52. Лурье, И.К. Основы геоинформационного картографирования / И.К. Лурье. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 143 с.
53. Львов, В.К. Системы Управления Базами Данных. Создание систем поддержки принятия решений на основе хранилищ данных / В.К. Львов. – М., 2001. – 432 с.
54. Люгер, Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегия и методы решения сложных проблем / Д.Ф. Люгер. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2003. – 245 с.
55. Де Мерс Майкл. Географические информационные системы / Майкл де Мерс. – М. : «Дата+», 2000. – 490 с.
56. Малыгин, Е.Н. Автоматизированное проектирование на основе системного подхода / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов // Экология и промышленность России. – 2001. – № 5. – С. 36 – 40.
57. Малыгин, Е.Н. Использование ГИС-технологий для моделирования состояния экосистемы промышленного узла / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, М.В. Зуйков, Ю.В. Немтинова // Геоинформатика. – 2003. – № 3. – С. 16 – 21.
58. Малыгин, Е.Н. Решение проблемы оптимального синтеза технологических процессов сложных систем / Е.Н. Малыгин, В.А. Немтинов, Ж.Е. Зимнухова, Ю.В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т.7, № 2. – С. 242 – 245.
59. Меренков, А.П. Теория гидравлических цепей / А.П. Меренков, В.Я. Хасилев. – М. : Наука, 1985. – 235 с.
60. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахага. – М. : Мир, 1973. – 344 с.
61. Мещеряков, С.В. Эффективные технологии создания информационных систем. – СПб. : Политехника, 2005. – 309 с.
62. Минаков, И.П. Использование ЭВМ при проектировании генеральных планов и объемно-планировочных решений / И.П. Минаков, И.И. Рафалович, В.С. Тимошук. – Л. : Наука, 1982. – 226 с.
63. Минский, М. Фреймы для представления знаний / М. Минский. – [Электронный ресурс] – Режим доступа:<http://a-future.ru/freijmy-dlya-predstavleniya-znaniij-m-minskijj.html>.
64. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М. : Наука, 1982. – 286 с.
65. Насосы Аирпамп. Промышленные насосы – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://airpump.ru/item_novarotors_manual_08.html.
66. Немтинов, В.А. 3D моделирование объектов коммунальных систем / В.А. Немтинов, П.И. Пахомов, К.В. Немтинов // Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования : тр. I Междунар. науч.-техн. конф. – Ижевск : УГУ, 2009. – С. 79 – 83.
67. Немтинов, В.А. Информационная система принятия решений по обеспечению экологической безопасности / В.А. Немтинов ; под ред. проф. В.М. Тютюнника // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2005. – Вып. 3. – С. 145 – 148.
68. Немтинов, В.А. Информационный анализ и моделирование объектов природно-промышленной системы / В.А. Немтинов. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 112 с.
69. Немтинов, В.А. Использование Internet-технологии при разработке корпоративных справочных систем / В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, В.Г. Мокрозуб, Д.П. Козадаев // IV научн. конф. ТГТУ : сб. тезисов докладов. – Тамбов, 1999. – С. 27 – 28.
70. Немтинов, В.А. Использование ГИС-технологий при решении задач водоотведения и очистки стоков промышленного узла / В.А. Немтинов, М.В. Зуйков, Ю.В. Немтинова // ЭКВАТЭК-2002 : матер. V Междунар. конгр. и технич. выставки. – М., 2002. – С. 125 – 127.
71. Немтинов, В.А. Методика автоматизированного моделирования объектов класса открытых систем / В.А. Немтинов ; под ред. проф. В.М. Тютюнника // Информационные системы и процессы : сб. науч. тр. – Тамбов ; М. ; СПб. ; Вена : Изд-во «Нобелистика», 2005. – Вып. 3. – С. 26 – 33.
72. Немтинов, В.А. Перспективы использования ГИС-технологий в химической промышленности / В.А. Немтинов // Химическая промышленность. – 2004. – Т. 81, № 8. – С. 427 – 434.

73. Немтинов, В.А. Применение теории нечетких множеств и экспертных систем при автоматизированном выборе элемента технической системы / В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, П.И. Пахомов // Информационные технологии. – 2009. – № 10. – С. 31 – 36.
74. Немтинов, В.А. Принятие решений по управлению коммунальными сетями с использованием теории иерархических систем / В.А. Немтинов, П.И. Пахомов // Математические методы в технике и технологиях : тр. XXII Междунар. науч.-практ. конф. : в 10 т. – Псков, 2009. – Т. 7. – С. 87 – 89.
75. Немтинов, В.А. Разработка корпоративных справочных систем для пользователей глобальных компьютерных сетей / В.А. Немтинов, С.Я. Егоров, В.Г. Мокрозуб // Информационные технологии в производственных, социальных и экономических процессах ИНФОТЕХ-99 : тез. докл. II Междунар. конф. – Череповец, 1999. – С. 39 – 40.
76. Немтинов, В.А. Создание геоинформационной модели предприятия с использованием ГИС-технологий / В.А. Немтинов, М.В. Зуйков, А.С. Клейменов // Труды ТГТУ : сб. науч. статей молодых ученых и студентов. – Тамбов, 2001. – Вып. 8. – С. 166 – 170.
77. Немтинов, В.А. Создание информационных справочных систем с использованием технологии Internet/Intranet / В.А. Немтинов, В.Г. Мокрозуб, С.Я. Егоров, Д.П. Козадаев // Информационные технологии. – 1999. – № 7. – С. 37 – 39.
78. Немтинов, В.А. Трехмерная визуализация территории муниципального образования для управления коммунальными системами / В.А. Немтинов, П.И. Пахомов, К.В. Немтинов // Прикладная информатика. – 2009. – № 2. – С. 55 – 62.
79. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Наука, 1986. – 321 с.
80. Нечеткие множества и теория возможностей / под ред Р. Ягера. – М. : Радио и связь, 1986. – 342 с.
81. Павлов, В.В. Полихроматические графы и гиперграфы в структурном моделировании систем / В.В. Павлов // Техника. Экономика. Сер. Автоматизация проектирования. – 1995. – Вып. 3–4. – С. 30 – 36.
82. Павлов, В.В. Полихроматические множества в теории систем. Изменение состава ПС-множеств // Информационные технологии. – 1998. – № 1. – С. 4 – 8.
83. Павлов, В.В. Полихроматические множества в теории систем. Структура ПС-множеств / В.В. Павлов // Информационные технологии. – 1997. – № 7. – С. 11 – 16.
84. Павлов, В.В. Структурное моделирование в CALS- технологиях / В.В. Павлов; Ин-т конструкторско-технологической информатики РАН. – М. : Наука, 2006. – 307 с.
85. Пахомов, П.И. Геоинформационная модель территории для поддержки принятия решений по управлению объектами коммунальных систем / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 1. – С. 42 – 45.
86. Пахомов, П.И. Единое информационное пространство территории для поддержки принятия решений по управлению водопроводными системами / П.И. Пахомов // Новые технологии и инновационные разработки : тез. докл. I Межвуз. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Тамбов, 2008. – С. 51–52.
87. Пахомов, П.И. Модель информационного объекта трубопроводной системы / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Сер. Технические науки. – 2009. – Т. 3, № 4. – С. 184 – 190.
88. Пахомов, П.И. Модель поддержки принятия решений при обслуживании насосного оборудования трубопроводных систем / П.И. Пахомов // Актуальные проблемы информатики и информационных технологий : сб. трудов XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов : ТГУ им Г.Р. Державина, 2009. – С. 17 – 19.
89. Пахомов, П.И. Процедурная модель выбора трубопроводной арматуры для водопроводных и тепловых систем / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов, С.Я. Егоров // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. Сер. Технические науки. – 2008. – Т. 2, № 4. – С. 133 – 140.
90. Пахомов, П.И. Разработка продукционной модели системы поддержки принятия решений для обеспечения режимов нормального функционирования водопроводных систем / П.И. Пахомов // Математические методы в технике и технологиях : тр. XXII Междунар. науч.-практ. конф. : в 10 т. – Псков, 2009. – Т. 6. – С. 32 – 33.

91. ПБ 03-108–96. Правила устройства и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов : утв. постановлением Госгортехнадзора России № 11 от 02.03.95. – М. : Стройиздат, 1995. – 121 с.
92. ПБ 03-75–94. Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды : утв. постановлением Госгортехнадзора России № 45 от 18.07.94. – М. : Стройиздат, 1994. – 153 с.
93. Попов, И.И. Базы данных / И.И. Попов, Н.В. Максимов, О.Л. Голицына. – М. : Форум, ИНФА-РА-М, 2003. – 352 с.
94. Попом Э.В. Статистические и динамические экспертные системы / Э.В. Попом, И.Б. Фоминых, Е.Б. Кисель, М.Д. Шапот. – М. : Финансы и статистика, 1996. – 320 с.
95. Пособие по определению толщин стенок стальных труб, выбору марок сталей для наружных сетей водоснабжения и канализации (к СНиП 2.04.02–84 и СНиП 2.04.03–85). – М. : Стройиздат, 1986. – 188 с.
96. Поспелов, Г. С. Искусственный интеллект – прикладные системы / Г.С. Поспелов, Д.А. Поспелов. – М. : Знание, 1985. – 48 с.
97. Построение экспертных систем / под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана, Д. Лената. – М. : Мир, 1987. – 441 с.
98. Праг Керри, Н. Access 97. Библия пользователя / Н. Праг Керри, Ирвин Мишель Р. – Киев : Диалектика, 1997. – 564 с.
99. Прохоров, А.П. Определение оптимальной структуры базы данных / А.П. Прохоров // Informix Magazine. Russian Edition. – 1988. – № 1. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.florin/win/informix_magazine/1_98/5_1.html.
100. Прэтт, У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – 160 с.
101. РД IDEF0–2000. Методология функционального моделирования IDEF0: Руководящий документ. – М. : Госстандарт Россия, 2000. – 127 с.
102. Российские коммунальные системы – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.roscomsys.ru/>.
103. Рыбина, Г.В. Технология проектирования прикладных экспертных систем / Г.В. Рыбина. – М. : Изд-во МИФИ, 1991. – 104 с.
104. CALS. Поддержка жизненного цикла продукции. Научно-исследовательский центр CALS-технологий «Прикладная логистика». – М., 2000. – 130 с.
105. Серапинас, Б.Б. Глобальные системы позиционирования / Б.Б. Серапинас. – М. : ИКФ «Каталог», 2002. – 106 с.
106. Сербенюк, С.Н. Картография и геоинформатика — их взаимодействие / С.Н. Сербенюк. – М. : МГУ, 1990. – 157 с.
107. Соболев, И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболев, Р.Б. Статников. – М. : Наука, 1981. – 112 с.
108. Справочник по эксплуатации систем водоснабжения, канализации и газоснабжения / под ред. С.М. Шифрина. – Л. : Стройиздат, Ленинградское отделение, 1976. – 320 с.
109. Стафеев, К.Г. Геолого-экономические карты при решении управленческих и научных задач / Г.К. Стафеев. // Развитие и охрана недр. – М., 2002. – С. 49 – 52.
110. Стратегия развития информационного общества в России. Решение Совета Безопасности РФ под председательством Президента РФ от 25 июля 2007 г.: [Электронный ресурс]. http://www.sbras.nsc.ru/win/laws/russ_kon.htm.
111. Технология разработки информационных систем. – М. : Компания разработки программного обеспечения Трисофт. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://job.trisoftrus.com/servise/devTech.asp>.
112. Тикунов, В.С. Исследования по искусственному интеллекту и экспертные системы в географии / В.С. Тикунов // Вестник Московского университета. Сер. География. – 1989. – № 6. – С. 3 – 9.
113. Тикунов, В.С. Моделирование в картографии / В.С. Тикунов. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
114. Тикунов, В.С. Устойчивое развитие территорий: картографо-геоинформационное обеспечение / В.С. Тикунов, Д.А. Цапук. – Москва ; Смоленск : Изд-во СГУ, 1999. – 176 с.
115. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерная поддержка принятия решений / Э.А. Трахтенгерц. – М. : Изд-во «Синтег», 1998. – 376 с.
116. Фетинина, Е.П. Многовариантный типологический подход в задачах обучения и обработки данных / Е.П. Фетинина, Т.В. Кораблина, Л.И. Криволапова и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 2000. – № 4. – С. 57 – 60.

117. Хабаров, С.А. Экспертные системы / С.А. Хабаров. – М.: Наука, 2003. – 279 с.
118. Цветков, В.Я. Геоинформационные системы и технологии / В.Я. Цветков. – М. : Финансы и статистика, 1998. – 228 с.
119. Цвиркун, А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М. : Наука, 1982. – 200 с.
120. Цыганов, В.В. Адаптивные механизмы в отраслевом управлении / В.В. Цыганов. – М.: Наука, 1991. – 166 с.
121. Частиков, А.П. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS / А.П. Частиков, Т.А. Гаврилова, Д.Л. Белов; Высшая школа менеджмента СПбГУ. – СПб. : Изд-во «Высшая школа менеджмента» ; Изд. дом. С.- Петерб. гос. ун-та, 2003. – 389 с.
122. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб. Справочное пособие / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев. – М. : Стройиздат, 1984. – 324 с.
123. Экспертные системы. Принципы работы и примеры. – М. : Радио и связь, 1987. – 224 с.
124. Элти, Дж. Экспертные системы: концепции и примеры / Дж. Элти, М. Кумбс. – М. : Финансы и статистика, 1987. – 191 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОБЪЕКТАМИ инженерных коммуникаций	4
1.1. инженерные коммуникации как объект управления обеспечением потребителей энергоносителями	4
1.2. Математические методы и технологии, используемые при моделировании сложных технических систем	10
1.3. Обзор информационных систем поддержки принятия решений при управлении территориально распределенными объектами	18
2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ инженерными коммуникациями	31
2.1. Принятие решений по управлению инженерными коммуникациями с использованием теории иерархических систем	31
2.2. Разработка единого информационного пространства территории	43
2.2.1. Структура единого информационного пространства	43
2.2.2. Математические методы построения пространственной модели территории	46

2.3. Модель информационного объекта трубо- проводной системы	53
2.4. Информационно-логические модели поддержки принятия решений при управлении трубопроводными системами	55
2.5. Применение теории экспертных систем при автоматизированном выборе элементов трубопроводных систем	59
2.5.1. Оценка потребительско-эксплуатационных показателей элементов трубопроводных систем	59
2.5.2. Процедурная модель выбора элемента трубо- проводных систем	62
3. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЦЕ- ДУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕ- ШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕ- МЫ ОРГАНИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СЛУЖБЫ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВО- ДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ	66
3.1. Обоснование структуры автоматизированной информационной системы и ее основные функции	66
3.2. Построение пространственной модели территории	68
3.3. Модель информационного объекта для фрагмента водопроводной сети	73
3.3.1. Аналитические модели для определения свойств информационного объекта и его элемен- тов	73
3.3.2. Реализация аналитических моделей для опре- деления свойств элементов информационного объ- екта	89
3.3.3. Информационно-логические модели для опре- деления свойств элементов информационного объ- екта	95
3.3.4. Реализация информационно-логических моде- лей для определения свойств элементов информа- ционного объекта	10 5
3.4. Процедурная модель автоматизированного выбора трубопроводной арматуры	10 7
Заключение	11 1
Список литературы	11 3