

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Самарский государственный технический университет»

На правах рукописи

НЕЧАЕВ Дмитрий Александрович

**СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В
РЕГИОНАЛЬНОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (промышленность)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Орлов Сергей Павлович

Самара – 2014

Оглавление

Введение	4
Глава 1. Анализ водохозяйственного комплекса Самарской области и постановка задачи исследований	11
1.1 Анализ водных ресурсов Самарской области и структура регионального водохозяйственного комплекса	11
1.2 Анализ системных подходов к управлению крупными водохозяйственными комплексами	17
1.2.1. Управление проектами в организационных структурах.....	18
1.2.2. Мультиагентные технологии управления в сложных системах.....	20
1.2.3. Применение методов DEA при анализе и управлении.....	21
1.2.4. Байесовские интеллектуальные технологии при управлении региональными проектами.....	22
1.3 Информационно-управляющая система водохозяйственного комплекса	24
1.3.1 Структура информационно-управляющей системы	24
1.3.2 Информационно-измерительные системы в составе ИУС.....	25
1.4 Формализация описания целевой региональной программы водоснабжения.....	29
1.5 Жизненный цикл региональной программы водоснабжения и водоотведения	34
1.6 Задача создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения	37
Выводы.....	39
Глава 2. Системные модели оценки и классификации объектов водоснабжения и водоотведения	41
2.1 Комплекс системных моделей поддержки принятия решений при управлении региональным водоснабжением промышленных предприятий.....	41
2.2 Группировка водозаборов по нормативным показателям качества воды.....	45
2.2.1 Выбор критериев кластеризации.....	45
2.2.2 Комплексные критерии пригодности питьевой воды.....	46
2.3 Применение методологии DEA для оценки и классификации объектов водоснабжения.....	49
2.4 Формирование комплексных критериев оценки и классификации объектов водоснабжения.....	51
2.5 Построение искусственных объектов по методологии P-DEA	58
2.6 Оценки эффективности объектов водоснабжения на примере территориальных образований Самарской области.....	63
Выводы.....	65
Глава 3. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений.....	66
3.1 Задачи ИСППР ТВ	66
3.2 Структура ИСППР ТВ	67

3.3	Логико-лингвистические модели подсистем ИСППР ТВ.....	70
3.3.1	Логико-лингвистическая модель фактов базы знаний.....	71
3.3.2	Логико-лингвистическая модель элементов управления фактами.....	76
3.4	Формирование и оптимизация графа логического вывода.....	78
3.5	Разработка экспертной системы ИСППР ТВ.....	83
3.6	Разработка базы знаний ИСППР ТВ.....	84
3.7	Построение альтернативных вариантов технической реализации системы водоснабжения с помощью ИСППР ТВ.....	85
3.8	Задача оптимизации технологических параметров системы водоснабжения промышленного производства.....	86
3.9	Алгоритм принятия решений при управлении в водохозяйственном комплексе.....	89
	Выводы.....	91
	Глава 4. Апробация ИСППР ТВ при управлении региональной целевой программой водоснабжения и проектировании систем промышленного водоснабжения.....	93
4.1	Применение методов комплексной оценки эффективности систем водоснабжения в рамках региональной программы «Чистая вода».....	93
4.2	Проектирование технологических схем водоснабжения с использованием ИСППР ТВ.....	95
4.2.1	Задача оптимизации технологического оборудования для предприятия мясомолочной продукции в п. Кутузовский Самарской области.....	95
4.2.2	Использование ИСППР ТВ при проектировании объектов промышленного водоснабжения.....	104
4.3	Программная реализация интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения.....	108
4.4	Анализ эффективности разработанных методов и алгоритмов.....	127
	Выводы.....	130
	Заключение.....	131
	Список литературы.....	134
	Приложение А. Базы фактов и базы правил для подземных и поверхностных источников.....	147
	Приложение Б. Свидетельство о регистрации программ ЭВМ.....	177
	Приложение В. Акты внедрения.....	178

Введение

Актуальность темы. Современное промышленное производство для многих технологических процессов использует воду с повышенными требованиями по качеству и степени очистки. В то же время одной из задач повышения уровня жизни в РФ является обеспечение чистой водой нормативного качества населения страны. Одновременно должно обеспечиваться соответствующее водоотведение сточных вод. Это комплексная проблема, которая в Российской Федерации решается путем выполнения целевых региональных программ за счет федерального бюджета и с привлечением внебюджетных источников и частного капитала. С этой целью реализуется Федеральная целевая программа «Чистая вода» на период до 2017 года. В рамках этой программы в субъектах федерации, в том числе и в Самарской области, сформированы и выполняются региональные целевые программы водоснабжения и водоотведения.

Основные задачи такой программы связаны с проектированием, строительством или реконструкцией технических объектов – систем водоснабжения, водоподготовки и водоотведения. Выполнение программы должно проводиться на базе современных научных методов управления крупными проектами с использованием интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Теоретическую основу выполненного в диссертации исследования составляют современные научные работы в области системного анализа и управления сложными организационными и техническими системами таких ученых, как В.Н. Бурков, В.А. Виттих, А.А. Емельянов, Б.Г. Ильясов, В.А. Ириков, Н.А. Коргин, В.В. Кульба, В.В. Липаев, Д.А. Новиков, Г.С. Поспелов, И.В. Прангишвили, С.В.Смирнов, А.В. Цветков, А.Д. Цвиркун, В.Д. Шапиро, Э.А. Трахтенгерц, А. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes, K. Heldman, H. Kerzner. Методы и технологии очистки воды и проектирование систем промышленного и бытового водоснабжения рассмотрены в работах Л.П. Алексеевой, Л.М. Живиловой, М.Г. Журбы, Г.И. Николадзе, Е.И. Пупырева.

Методологической основой целевых региональных программ является программно-целевой механизм управления результатами стратегии и политики на приоритетном направлении развития. Имеется большой опыт управления крупными региональными проектами по снабжению водой населения. При этом вопросы водообеспечения промышленных предприятий региона решаются, как правило, в рамках частных проектов, отсутствует комплексный подход к использованию водных ресурсов области.

В настоящее время существует ряд автоматизированных систем управления целевыми программами, однако они ориентированы, в основном, на контроль исполнения мероприятий, отслеживание календарного плана и использования финансовых ресурсов. В то же время не в полной мере используются научные методы оценки эффективности при принятии решений при отборе объектов в целевую программу. На предпроектных этапах часто принимаются не обоснованные решения по размерам инвестиций, которые не соответствуют технологическим решениям, выбираемым в дальнейшем на этапах проектирования.

Таким образом, актуальной становится разработка системы поддержки принятия решений на всех этапах выполнения целевой региональной программы водоснабжения и водоотведения, обеспечивающей функции системного анализа и отбора объектов программы, обоснованного выбора технологических решений и эффективного использования технических, финансовых и организационных ресурсов.

Целью диссертационной работы является развитие системных моделей анализа объектов и технологических процессов водоснабжения и создание системы поддержки принятия решений при управлении мероприятиями по обеспечению промышленных предприятий Самарской области чистой водой.

Для достижения цели в диссертационной работе **поставлены следующие задачи:**

1. Провести системный анализ водохозяйственного комплекса Самарской области (ВК СО) и жизненного цикла целевой региональной программы водоснабжения и водоотведения.

2. Поставить и решить задачу системного анализа промышленных объектов, городских и муниципальных объектов водоснабжения с целью их комплексной оценки для принятия решений о включении в региональную программу.

3. Разработать алгоритм генерации альтернативных технических решений по технологиям водоснабжения и водоотведения на основе баз знаний.

4. Разработать математическую модель оптимизации технических решений на предпроектных этапах выполнения работ по объектам водоснабжения.

5. Разработать и исследовать систему поддержки принятия управленческих и проектных решений на этапах жизненного цикла целевой региональной программы водоснабжения и водоотведения.

Объектами исследования являются региональный водохозяйственный комплекс Самарской области, включающий объекты водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и населения, и целевая региональная программа по проектированию и строительству новых и реконструкции существующих систем водоснабжения и водоотведения.

Предметом исследования являются процессы управления по планированию и исполнению проектных, строительно-монтажных и пуско-наладочных работ и осуществления эксплуатации промышленных систем водоснабжения в рамках региональной программы водоснабжения и водоотведения.

Методы исследования. В работе использовались методы управления сложными организационно-техническими системами, теория системного анализа, исследование операций и математическое программирование, методология многокритериального оценивания эффективности Data Envelopment Analysis (DEA), теория систем искусственного интеллекта.

Диссертация выполнена в соответствии с пунктами паспорта специальности 05.13.01: п.2. - Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; п.4 – Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации; п.9 – Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических, экономических, биологических, медицинских и социальных объектов.

Научная новизна работы характеризуется следующими результатами:

1. Предложен комплекс системных моделей при управлении целевой региональной программой водоснабжения и водоотведения, отличающийся учетом всех этапов жизненного цикла программы и служащий методологической основой построения системы поддержки принятия решений, что позволяет уменьшить стоимость проектных работ и сократить сроки строительства систем водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов.

2. Разработан алгоритм анализа объектов водоснабжения на основе методологии DEA, отличающиеся построением искусственных объектов для комплексной оценки эффективности систем водоснабжения, что обеспечивает обоснованный отбор объектов для включения в региональную программу водоснабжения и водоотведения.

3. Сформулирована и решена задача дискретного программирования для оптимального выбора технологического оборудования системы водоснабжения, отличающаяся применением в качестве опорных решений альтернативных технологических вариантов, генерируемых алгоритмом продукционного вывода, с учетом ограничений на параметры системы водоснабжения, что позволяет получить эффективное распределение инвестиционных ресурсов по объектам водоснабжения.

4. Разработана интеллектуальная система поддержки принятия решений для целевой региональной программы водоснабжения и водоотведения, отличающаяся использованием предложенного комплекса системных моделей для

управления проектированием, строительством и эксплуатацией в течение жизненного цикла систем водоснабжения, что сокращает сроки выполнения этапов программы и оптимизирует инвестиционные вложения в системы промышленного водоснабжения и водоотведения.

Практическая ценность.

Разработанные модели и алгоритмы системного анализа и управления применяются в интеллектуальной системе поддержки решений при проектировании и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения промышленных производств. Система поддержки принятия решений может быть интегрирована в единое информационное пространство Электронного правительства субъекта Российской Федерации для управления региональным водохозяйственным комплексом. Это обеспечивает снижение стоимости проектных работ, сокращение сроков и гибкое изменение технических заданий и технических требований на всех этапах жизненного цикла региональной программы «Чистая вода».

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Комплекс системных моделей при управлении целевой региональной программой водоснабжения и водоотведения, отличающийся учетом всех этапов жизненного цикла программы и служащий методологической основой построения системы поддержки принятия решений.

2. Алгоритм анализа объектов водоснабжения на основе методологии DEA для отбора объектов для включения в региональную программу водоснабжения, отличающийся использованием практической границы и построением искусственных объектов для комплексной оценки эффективности систем водоснабжения.

3. Задача оптимального выбора технологического оборудования систем водоснабжения, отличающаяся применением в качестве опорных решений альтернативных технологических вариантов, генерируемых алгоритмом продукционного вывода, с учетом ограничений на параметры систем водоснабжения.

4. Интеллектуальная система поддержки принятия решений для региональной программы водоснабжения и водоотведения, отличающаяся использованием предложенного комплекса системных моделей для управления проектированием, строительством и эксплуатацией в течение жизненного цикла систем промышленного водоснабжения

Реализация и внедрение научно-технических результатов работы.

Диссертационная работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ в ФГБОУ ВПО СамГТУ:

- госконтракт № 117 от 14.03.2007 г. по областной целевой программе «Обеспечение населения Самарской области питьевой водой» на 2005 – 2010 годы» ((№ госрегистрации 01200710847);

- НИР № 525/10 «Теория наглядного комбинаторного анализа структурных свойств информационных систем» в рамках государственного задания на 2010 год (№ госрегистрации 01201053373).

Разработанные модели, алгоритмы и интеллектуальная система поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения внедрены в Министерстве строительства и ЖКХ Самарской области при выполнении областной целевой программы. Результаты работы использовались также в НПО «Фильтр» при выполнении работ по проектированию системы водоподготовки для промышленных предприятий Самарской области.

Материалы диссертации внедрены в учебный процесс в ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались на 8, 9 и 11 всероссийских межвузовских научно-практических конференциях «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании» (Самара, 2009 - 2012 гг.), 71-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2013 года «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре» (Самара, 2014 г.), Международной научной конференции «Мягкие вычисления и измерения», SCM - 2010, SCM - 2013 (Санкт-Петербург, 2010, 2013 гг).

Личный вклад автора. Основные научные результаты теоретических и экспериментальных исследований, выводы получены автором самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, лично соискателю принадлежат: комплекс системных моделей и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении программой водоснабжения и водоотведения [1,3,4,8,12], функциональная структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водообеспечения [2,6,7], разработка экспертной системы ИСППР [9,10], алгоритмизация процедуры генерации альтернативных технологических решений [16].

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 6 – в изданиях, входящих в «Перечень ВАК», получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка литературы из 122 наименований и приложений. Она содержит 146 страниц основного текста, включая 49 рисунков и 12 таблиц.

Глава 1. Анализ водохозяйственного комплекса Самарской области и постановка задачи исследований

1.1 Анализ водных ресурсов Самарской области и структура регионального водохозяйственного комплекса

Самарская область входит в состав Поволжского федерального округа, расположенного в среднем течении реки Волги (преимущественно левобережье, частично - правобережье), в юго-восточной части русской равнины.

Поверхностные водные ресурсы территории представлены бассейном реки Волги и её притоками 1-го и 2-го порядка: реки Самара, Сок, Уса, Большой Черемшан, большой Иргиз, Большой Кинель, Чагра, Чапаевка, Кондурча, Сызранка, Безенчук. Река Волга в пределах Самарской области находится в подпоре двух крупных водохранилищ: Куйбышевского (площадь 5900 км², объем 56 км³) и Саратовского (площадь 1831 км², объем 12,4 км³). Всего на территории Самарской области – 250 водотоков общей протяженностью 6300 км, 27 озер площадью более 0,5 км², 180 прудов и водохранилищ на местном стоке. Общие ресурсы поверхностных вод Самарской области (без реки Волги) в средний по водности год оцениваются в количестве 7330 млн. м³. Из них 3800 млн. м³ формируются непосредственно на территории области. Приток речных вод, привлекаемых из смежных областей, составляет 3530 млн. м³, а отток их за пределы области – 1015 млн. м³.

На основе данных наблюдений за длительный период видно, что качество воды из поверхностных водоемов, не соответствует требованиям по жесткости, окисляемости, содержанию фенолов и другим параметрам.

Подземные воды распространены на территории области практически повсеместно, однако, по водообильности и качеству распределение их крайне неравномерное.

В пределах долины реки Волги и ее основных притоков широкое развитие имеют подземные воды, приуроченные к песчаным отложениям акчагыльского яруса неогеновой системы. В правобережной части Самарской области широкое

развитие имеют подземные воды, приуроченные к песчаникам, опокам и пескам палеогена, а также карбонатным породам, мергелям верхнего мела. В юго-восточной части Самарской области в междуречье Чапаевки, Съезжей, Ветлянки и Большого Иргиза достаточно широкое развитие имеют подземные воды триасового водоносного горизонта, приуроченные к одноименным песчаникам и пескам. В северной и центральной частях Самарской области развиты подземные воды татарского и казанского водоносных горизонтов. На территории Самарской Луки, города Сызрани и Сызранского, а также Хворостянского районов определенный практический интерес представляют подземные воды верхнекаменноугольных карбонатных отложений.

Потенциальные запасы подземных вод Самарской области оцениваются в 18 млн. м³/сут.

К настоящему времени на территории Самарской области разведаны и утверждены запасы подземных вод в объеме 2,6 млн. м³/сут по 22 месторождениям. В том числе по правобережному Сурско-Хоперскому артезианскому бассейну – 0,1 млн. м³/сут, по Волго-Камскому – 0,7 млн. м³/сут и по Прикаспийскому – 1,8 млн. м³/сут. Наиболее крупными месторождениями являются Рождественское (1 млн. м³/сут), Тольятинское (0,76 млн. м³/сут), Засамарское (0,54 млн. м³/сут), Чапаевское (0,14 млн. м³/сут). В эксплуатации (полной или частичной) задействованы 13 месторождений [112, 113].

По гидрогеологическому районированию на территории Самарской области выделяются районы хорошей, средней и слабой обеспеченности подземными водами.

Районы хорошей водообеспеченности прилегают к долине реки Волги и её притокам: рекам Самара, Уса, Сок, Чагра, Большой Кинель. Наибольшей водообильностью и качеством воды характеризуются трещиноватые породы (известняки и доломиты) казанского яруса верхней перми и верхнего карбона. Дебиты буровых скважин, указанных водоносных комплексов, могут достигать 50-150 м³/час. Вместе с тем в ходе чрезмерной интенсивной эксплуатации водоносных комплексов нередко возникает проблема ухудшения качества

подземных вод вследствие подсоса вод нижележащих и более минерализованных комплексов. В качестве такого негативного примера можно считать опыт эксплуатации водозаборов подземных вод в пос. Осинки Безенчукского района, в городах Самаре, Отрадном, Новокуйбышевске, Чапаевске.

Районы средней водообеспеченности расположены в юго-восточной и северо-восточной части области. Производительность скважин колеблется преимущественно в пределах от 5 до 15 м³/час. Качество подземных вод от пресных до солоноватых с минерализацией от 0,5 – 0,7 г/л до 1,5 – 2 г/л.

Районы слабой водообеспеченности расположены в южной части области. Территория слабой водообеспеченности характеризуется слабой водообильностью водоносных горизонтов, кроме того, здесь существует серьезная проблема в отношении качества подземных вод. Минерализация подземных вод в южных районах 1,5 – 3 г/л и выше.

Подземные воды Самарской области характеризуются повышенным содержанием железа, а также повышенной жесткостью, общей минерализацией [113].

Одна из основных проблем в области регионального водоснабжения и водоотведения заключается в отсутствии системного подхода к организации использования природных водных ресурсов, построении сбалансированных систем водоснабжения и водоотведения.

Обозначим некоторые аспекты этой проблемы.

1. В Самарской области далеко не все потребители имеют возможность получать воду из р. Волги, которая позволяет практически без лимитов отбирать любое количество воды для промышленных предприятий современного масштаба. Многие предприятия и населенные пункты пользуются либо подземными источниками, либо прудами и водохранилищами с ограниченными водными ресурсами.

В то же время практика строительства новых водозаборов до сих пор не всегда учитывает эффект взаимного влияния производительности и мощностей различных потребителей, пользующихся одним и тем же ресурсом.

2. Как правило, системы водоотведения проектируются с расчетом, основанным на крупное промышленное производство. При этом предприятия малого и среднего бизнеса не попадают в сферу рассмотрения, тогда как суммарное потребление и отведение воды для них может быть сравнимо с крупным предприятием или населенным пунктом.

3. Не проводится системный анализ и не используются научно обоснованные методики проектирования систем водоснабжения и отведения, учитывающие все компоненты традиционно сложившегося в Самарской области комплекса водопотребителей.

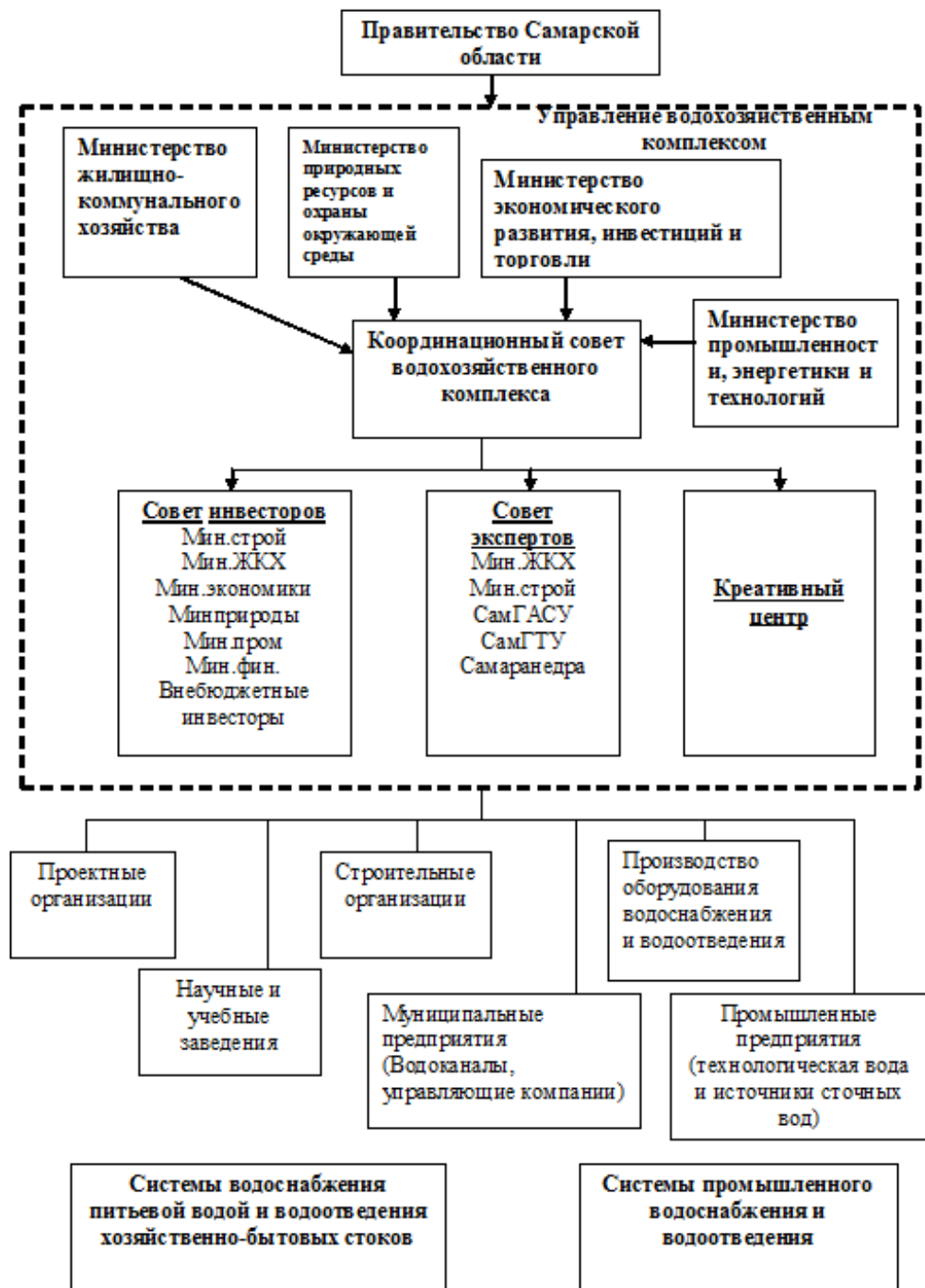
Научные исследования, проводимые в Самарском государственном техническом университете, Самарском государственном архитектурно-строительном университете, ОАО «Институт Средволгогипроводхоз», Самара, показали необходимость создания *единого водохозяйственного комплекса Самарской области* [12, 110, 111].

Основная цель – организация комплексного централизованного управления в сфере водоснабжения и водоотведения, направленного на сохранение здоровья, улучшения условий деятельности и повышения уровня жизни населения Самарской области.

Построение водохозяйственного комплекса связано с необходимостью *объединить* в рамках одной региональной зоны производственные проекты в конкретной технологической области – водоснабжении и водоотведении промышленности и населения, а также фундаментальные разработки и современные системы проектирования новых технологий производства питьевой и технической воды и очистки сточных вод.

На рисунке 1.1 приведена структура водохозяйственного комплекса Самарской области. Дальнейшее развитие водохозяйственного комплекса должно привести к образованию кластера промышленного развития, идея которых является центральным пунктом реализации проектной установки управления страной в рамках национальных проектов.

**СТРУКТУРА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА
САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ**



Р и с у н о к. 1.1 - Структура водохозяйственного комплекса Самарской области

Комплекс должен объединять три основных компоненты:

- Промышленное водоснабжение
- Хозяйственно-бытовое водоснабжение населения чистой водой

- Промышленное и хозяйственно-бытовое водоотведение

Водохозяйственный комплекс предполагает организационное взаимодействие как минимум трёх крупных технологических групп, которые образуют его технологическую основу:

1. Проектные организации, научно-исследовательские институты и предприятия по выпуску опытной продукции, участвующие в разработке новых технологий и оборудования водоподготовки и водоочистки.
2. Промышленно-технологические группы, способные с учетом перспективного развития Самарской области осуществлять эффективную добычу и подготовку воды нормативного качества в необходимом объеме, обеспечивать очистку сточных вод как промышленного, так и хозяйственно-бытового происхождения.
3. Управленческие группы, способные эффективно и рентабельно управлять продвижением продукции водохозяйственной отрасли на рынок услуг и формировать устойчивый спрос, в том числе и поставок воды за пределы Самарской области.

Для обеспечения совместной работы этих технологических групп организуются:

- совет инвесторов, принимающий решения о приоритетном финансировании проектов;
- экспертный совет, рассматривающий различные проекты и принимающий решения о реализации проектов,
- креативный центр, подготавливающий материалы для принятия решений экспертным советом и советом инвесторов.

Общее руководство деятельностью водохозяйственного кластера осуществляет Координационный совет, включающий представителей основных отраслевых министерств региона и частных инвесторов.

Задачи, выполняемые водохозяйственным комплексом

1. Управление и организация
2. Повышение конкурентоспособности предприятий водного хозяйства

3. Инвестиционное проектирование и реализация крупных региональных проектов в области промышленного водоснабжения и водоотведения
4. Внедрение новых технологий и оборудования водоподготовки
5. Развитие экспортных ресурсов воды
6. Обеспечение безопасности систем водоснабжения и водоотведения
7. Научно-техническое развитие водного хозяйства
8. Кадровое развитие

Концепция водохозяйственного комплекса была разработана научными коллективами кафедры «Вычислительная техника» СамГТУ и ОАО «Институт Средволгогипроводхоз» и представлена в Правительство Самарской области. Автор входил в состав исполнителей проекта.

В Самарской области планомерно проводится работа по развитию водохозяйственного комплекса на основе программно-целевого подхода. В 2005 – 2010 годах выполнялась региональная целевая программа по обеспечению питьевой водой [114]. В настоящее время в Российской Федерации реализуется Государственная программа «Чистая вода», которая направлена на реформирование и модернизацию сектора водоснабжения и водоотведения.

Главная задача государственной программы «Чистая вода» - создание эффективной бизнес-среды и условий для привлечения частных инвестиций в сектор промышленного и хозяйственного водоснабжения и водоотведения на основе прозрачной системы государственного регулирования, обеспечивающей баланс интересов потребителей, собственников и операторов систем водоснабжения и водоотведения.

1.2 Анализ системных подходов к управлению крупными водохозяйственными комплексами

Для управления водохозяйственным комплексом необходимо выбрать методологический подход, который можно применить для анализа промышленных систем водоснабжения, управления целевой региональной

программой и для построения системы принятия решений. Для этого рассмотрено несколько известных и используемых на практике теоретических направлений. Остановимся на них подробнее и рассмотрим по отдельности.

1.2.1. Управление проектами в организационных структурах

Рассмотрим общие подходы теории управления, применяемые для разработки математических моделей социальных и экономических систем [17, 18]:

- теория активных систем – ТАС [19-22];
- теория иерархических игр – ТИИ [23-25];
- Mechanism Design – MD [26-28].

Совместное использование этих подходов привело к созданию теории управления организационными системами, предметом изучения которой является разработка организационных механизмов управления [29]. В рамках этой теории созданы, исследованы и апробированы на практике десятки механизмов управления, которые успешно применяются при управлении сложными системами в различных областях промышленности.

Теория активных систем (ТАС) - раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий свойства механизмов их функционирования, обусловленные проявлениями активности участников системы. Основным методом исследования является математическое, в частности теоретико-игровое моделирование, и имитационное моделирование.

В теории активных систем задача управляющего органа состоит в выборе такого допустимого управления, которое максимизировало бы значение его эффективности при условии, что известна реакция системы $F(u)$ на управляющие воздействия [22].

Иерархическая игра является важнейшим подклассом неантагонистических многошаговых игр. Иерархические игры моделируют конфликтно-управляемые системы с иерархической структурой. Такая структура определяется

последовательностью уровней управления, следующих друг за другом в порядке определенного приоритета. В математической постановке иерархические игры классифицируются по числу уровней и характеру вертикальных связей.

В иерархических играх существует фиксированный порядок ходов – первый ход делает центр, затем свои стратегии выбирают агенты. С этой точки зрения теория иерархических игр является наиболее адекватным аппаратом описания задач управления организационными системами.

В теории конструирования механизмов (Mechanism Design) первой задачей является определение желаемого результата или социальной цели. После этого проводится конструирование соответствующего института (механизма) для достижения поставленной цели.

В работах [30, 31] описан метод управления крупными проектами в матричной структуре сложной производственной системы, который характеризуется подчинением сотрудников двум руководителям одного уровня. Руководитель проекта ставит задачи перед членами проектной группы, определяет сроки, осуществляет контроль над деятельностью группы. Руководители функциональных служб определяют способы решений поставленных перед соответствующими специалистами задач и контролируют ход их решений. Такой подход предполагает децентрализацию выполнения множества декомпозированных задач множеством исполнителей, которые участвуют в виртуальном аукционе выбора проектных задач. Однако, эта методология дает хорошие результаты на этапе проектного процесса. На предпроектном этапе при принятии решений она недостаточно эффективна.

Как видно из вышеизложенного, ни один из рассмотренных подходов управления в организационных структурах не может служить базой для разработки системы принятия решений в водохозяйственном комплексе при проектировании систем промышленного и бытового водоснабжения в рамках региональной целевой программы.

1.2.2. Мультиагентные технологии управления в сложных системах

Рассмотрим методологию управления сложными системами с использованием мультиагентных технологий [32, 33, 34]. В мультиагентных технологиях решение получается автоматически в результате взаимодействия множества самостоятельных целенаправленных программных модулей — агентов [34]. В этом отличие от классического способа, заключающегося в нахождении детерминированного алгоритма, обеспечивающего наилучшее в смысле заданных критериев решение проблемы.

Неопределенность присутствует, когда имеется ряд альтернатив, при этом невозможно предсказать, какой из вариантов окажется лучшим в будущем. Неопределенность возрастает, когда возможны непредсказуемые события [35].

Агенты похожи на членов команды: они также могут соревноваться друг с другом или сотрудничать в процессе принятия решения.

Ключевая особенность эмерджентного интеллекта заключается в динамике и непредсказуемости процесса принятия решений.

На практике это означает, что решение достигается за счет множества, которые не поддаются точному перебору или наблюдению. Однако это требуется в мультиагентных технологиях, так как агенты получают цели, которые должны быть достигнуты. При этом заранее не предопределяются сценарии выполнения задач по достижению этих целей. Эти сценарии формируются и исполняются агентами самостоятельно. На каждом шаге агенты рассматривают входы системы и реагируют на непредсказуемые события (задержки, сбои, изменения). Реакция агентов может быть самостоятельной, или осуществляться во взаимодействии с оператором.

Агенты функционируют в виртуальном мире, представляющем проблему, и взаимодействуют между собой путем посылки сообщений. Как результат переговоров агентов, формируется текущее решение проблемы, которое гибко меняется в соответствии с динамикой среды [36].

Применение мультиагентных технологий позволяет адаптироваться к изменениям системы и находить решения с учётом различных факторов. Этот

подход хорошо применим для динамично изменяющихся систем, в которых необходимо быстрое принятие решений на основании взаимодействия различных агентов. Однако, при управлении водохозяйственными комплексами подобный подход будет избыточен.

1.2.3. Применение методов DEA при анализе и управлении

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показывает значительный рост интереса к измерению и сравнению эффективности деятельности элементов разной организационной структуры [37]. Одной из важных задач является оценка эффективности функционирования систем, обеспечивающих экономическое и социальное развитие регионов страны [38, 39]. Проблема состоит в том, как измерить такой неформальный параметр, как «эффективность». Что должно быть положено в основу процедуры оценки, если сложный объект характеризуется множеством параметров? При этом сравниваемые объекты и системы могут значительно различаться по своей внутренней организации и структуре. В последнее время получил развитие метод построения *границы эффективности* [40 - 43]. С этим также связаны такие понятия, как граница производственных возможностей и производственная функция.

Производственная функция [44 - 50] показывает максимальное количество выпуска (продукции), которое может быть произведено из данного количества входных факторов производства (входов) при использовании данной технологии. Если распространить рассуждения на случай, когда выпускается продукция не одного вида, а нескольких, то принято говорить не о производственной функции, а о производственной границе, или границе эффективности [40, 43].

Предприятия или производственные системы, которые образуют анализируемое множество, считаются эффективными, если производят максимальное количество выпуска единиц продукции из данного количества входов. В пространстве, описывающем параметры входов и выходов, точки, соответствующие таким предприятиям, принадлежат границе эффективности.

Предприятия, которые не попадают на границу эффективности, описываются точками внутри области, ограниченной этой границей. В этом случае эффективность таких предприятий будет ниже возможной. Степень неэффективности объекта определяется степенью удаленности его точки от границы эффективности. При задании определенных условий можно вычислить и границу неэффективности предприятия. Так как на практике граница эффективности заранее неизвестна, следует использовать метод ее вычисления. Для оценивания границы эффективности множества производственных объектов применяются различные методы, в том числе метод Data Envelopment Analysis (DEA), в основе которого лежит линейное программирование [51 - 54]. Граница эффективности, получаемая с помощью методологии DEA, является кусочно-линейной.

Таким образом, методологию Data Envelopment Analysis можно использовать для оценки эффективности и классификации промышленных и хозяйственно-бытовых систем водоснабжения. Аналогичные подходы были использованы для оценки эффективности энергетических и тепловых систем [38]. Однако для целей водоснабжения, полученные в этих работах математические модели и результаты нуждаются в дальнейшем развитии и модификации с учетом специфики предметной области.

1.2.4. Байесовские интеллектуальные технологии при управлении региональными проектами

При принятии управленческих решений для сложных объектов и систем [55, 56, 61] как правило, отсутствуют достаточно полные и достоверные данные. Во-первых, информация, хранящаяся в электронном виде, характеризуется неточностью, нечеткостью и неполнотой. Это приводит к риску выбора неправильных решений в условиях неопределенности. Во-вторых, неопределенность обусловлена действиями субъектов, участвующих в работе

промышленного предприятия, воздействие которых на ситуацию не может быть определено заранее с высокой степенью вероятности.

В этом случае имеем задачу принятия решений в многокритериальной среде в условиях риска и неопределенности.

Для организации функционирования сложных промышленных комплексов можно использовать методологию байесовских интеллектуальных технологий (БИТ), развиваемую проф. Прокопчиной С.В. [55-62]. Информационно-аналитические системы на основе БИТ используются в самых разных прикладных задачах, от мониторинга состояния компонентов экосистем до аудита предприятий и маркетинга. На базе байесовских интеллектуальных технологий разработаны и используются на практике информационно-аналитические распределенные системы для различных приложений и средства мультимедийной визуализации сетевых решений [55-59]. Такие системы называются баесовскими интегрирующими сетями.

Эти системы могут осуществлять следующие функции:

- предоставлять метрологическое обоснование качества принимаемых решений;
- интегрировать разнородные множества данных и знаний;
- управлять качеством решений;
- развиваться в процессе жизненного цикла системы.

Разработка байесовских интегрирующих сетей обусловлена требованиями практических задач по обобщению всего имеющегося объема информации, и возможностями современных сетевых технологий, позволяющих накапливать на вычислительных узлах значительные массивы разнотипных информационных ресурсов.

Успешное применение на практике информационно-аналитических систем на основе БИТ является подтверждением их эффективности и интегрирующих системных возможностей. Это указывает на то, что байесовские интеллектуальные технологии можно применить для управления целевой региональной программой. В то же время в водохозяйственном комплексе

Самарской области, как и в других регионах России, отсутствуют достоверные данные о функционировании сложных систем промышленного водоснабжения за многолетние периоды. Это снижает возможность эффективного использования БИТ на современном этапе. Однако, байесовские интеллектуальные технологии целесообразно использовать для построения концептуального подхода к управлению региональными программами водоснабжения.

Вывод. Для разработки системных моделей, предназначенных для управления в водохозяйственном комплексе, целесообразно использовать методологию DEA, модель региональной программы, основанную на байесовских технологиях, и методы принятия решений на базе продукционного вывода.

1.3 Информационно-управляющая система водохозяйственного комплекса

1.3.1 Структура информационно-управляющей системы

Создание интегрированного водохозяйственного комплекса Самарской области невозможно без внедрения информационных технологий для сбора и обработки данных, поддержки принятия решений при управлении всеми процессами в комплексе.

Структура информационно-управляющей системы (ИУС) для водохозяйственного комплекса Самарской области приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 - Структура интегрированной информационно-управляющей системы водохозяйственного комплекса

1.3.2 Информационно-измерительные системы в составе ИУС

В Самарской области большинство источников водоснабжения строится на подземных водозаборах. В связи с этим актуальна задача информационного обеспечения систем водоснабжения, внедрения современных информационно-измерительных систем.

Водозаборы больших городов Самарской области, таких как гг. Тольятти и Новокуйбышевск, построены с использованием подземных вод и имеют несколько десятков скважин. Неправильные эксплуатационные режимы, отсутствие прогноза изменений состояния водных пластов могут привести к таким нежелательным явлениям, как потеря производительности скважин, засоление добываемой воды и др.

В диссертации рассматривается структура информационно-измерительной системы (ИИС) для контроля эксплуатационных параметров скважин, управления режимами водозабора и прогнозирования его гидрогеологического состояния [2].

Модель объекта измерений и управления. Водозабор подземных вод включает следующие сооружения: эксплуатационные и наблюдательные скважины с водоприемными устройствами, водоводы для сбора воды, накопительные емкости, водоочистные сооружения. Водозабор должен обеспечить требуемую суммарную производительность при безусловном выполнении нормативов СанПиН 2.1.4.1074-01 по качеству воды.

Основой водозабора является комплекс из I скважин, $I=I_{\text{Э}}+I_{\text{Н}}$, где $I_{\text{Э}}$ и $I_{\text{Н}}$ - соответственно количества эксплуатационных и наблюдательных скважин, причем $I_{\text{Э}} \gg I_{\text{Н}}$. Следовательно, вклад наблюдательных скважин в суммарный дебит водозабора незначителен. Основное назначение этих скважин - мониторинг состояния водоносного пласта.

Водозабор описывается двойкой $\langle Q, N \rangle$, где Q - суммарная производительность (дебит) и $N = \{N_k\}$ - вектор нормативных показателей качества воды:

$$Q = \sum_{i=1}^{I_{\text{Э}}} Q_i(U, V_i, W), \quad (1.1)$$

$$N_{ki} = \overline{N_{ki}}(U, V_i, W), \quad i = 1, I, \quad k = 1, K,$$

где $V_i = \{v_{ij}\}$, $j = 1, J$, - вектор влияющих параметров, J - количество параметров, I - количество скважин водозабора, K - количество контролируемых нормативных показателей, U - вектор управляющих воздействий, W - вектор внешних воздействий.

К влияющим параметрам относятся напор (глубина уровня) воды в скважине, мощность насосной установки, диаметры водоводов, гидравлические и гидрогеологические параметры водных пластов и др. В их число входят также измеряемые величины: коэффициент фильтрации водовмещающих пород,

мощность водоносного горизонта, гидравлическое сопротивление в точке расположения скважины [68] .

К внешним воздействиям относятся климатические данные, временной график объемов потребляемой городом воды, заданные экономические и экологические показатели и др.

Следовательно, задача управления водозабором состоит в нахождении вектора U^* управляющих воздействий на эксплуатационные скважины, обеспечивающего максимум дебита водозабора:

$$\max \sum_{i=1}^I Q_i(U, V_i, W), \quad (1.2)$$

при заданных ограничениях

$$\begin{aligned} N_{ki}(U, V_i^k, W) &\in \Omega_k, \\ S_{i,рас} &\leq S_{i,дон}, \end{aligned} \quad (1.3)$$

где Ω_k - область допустимых значений k – го нормативного показателя СанПиН, $S_{i,рас}$ и $S_{i,дон}$ - расчетное и допустимое значения понижения уровня воды в i -й скважине.

Информационно-измерительная система. В рамках разработки региональной программы водообеспечения была предложена общая структура информационно-управляющей системы для территориального водоснабжения (рис 1.2). В ее состав были включены информационно-измерительные системы на крупных водозаборах области. Задача ИИС контроля водозабора состоит в измерении, обработке и хранении данных, характеризующих параметры V_i, N_k, W .

Структура ИИС приведена на рисунке 1.3.

Измерительные системы ИС 1 – ИС $I_{\text{э}}$ содержат комплексы датчиков, расположенных на эксплуатационных скважинах, а ИС 1 – ИС $I_{\text{н}}$ – датчики на наблюдательных скважинах. Отличие в составе датчиков в том, что на наблюдательных скважинах производится измерение дополнительных параметров, характеризующих состояние водоносного пласта. Кроме того, частота опроса датчиков на эксплуатационных скважинах выше для оперативного реагирования на изменение режимов. Измерительная система ИС ТС содержит

датчики, установленные на технологических сооружениях: накопительных емкостях, водоочистном оборудовании, водоводах. База данных хранит временные ряды измерений за длительный период эксплуатации.

Кроме контроля текущего состояния водозабора, актуальной является задача прогнозирования роста водопотребления, будущих изменений в гидрогеологии пласта, возможных отклонений качества воды под действием техногенных и антропогенных факторов в долгосрочной перспективе. Функции прогноза реализованы в модуле «Прогноз», который содержит базу знаний и экспертную систему. Выходные данные модуля используются при формировании управляющих воздействий U , а также потока Z информационных сообщений для информационно-управляющей системы территориального водоснабжения.

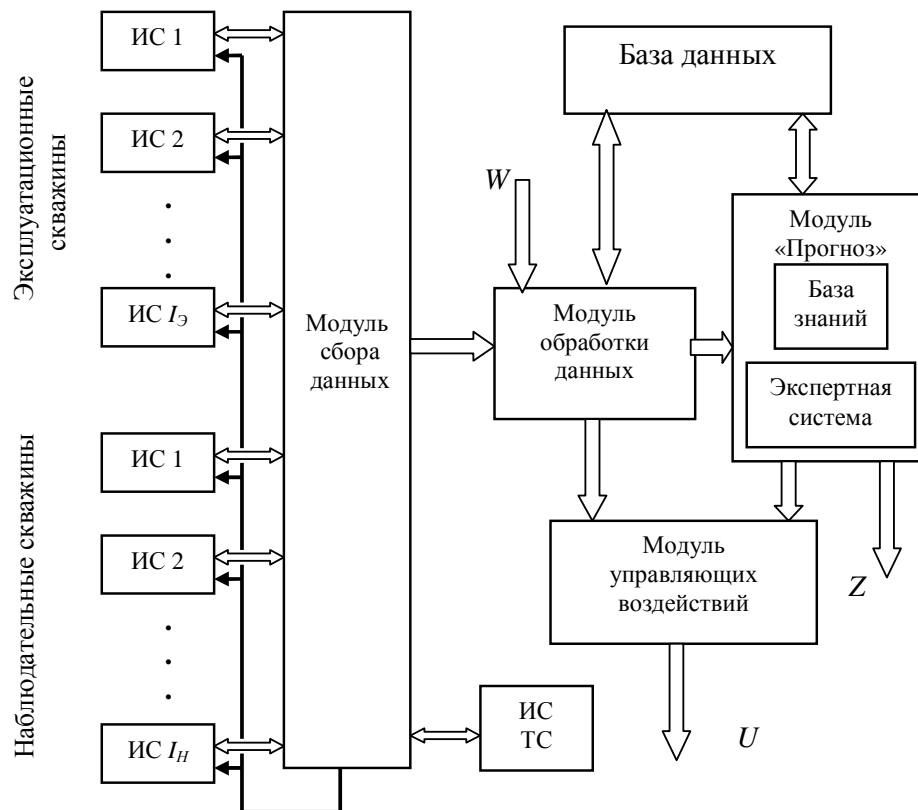


Рисунок 1.3 - Структура ИИС контроля параметров водозабора подземных вод

Часть функций, выполняемых в модуле обработки данных и модуле управляющих воздействий, реализуется в программируемых логических

контроллерах. Управление базой данных, базой знаний, работа экспертной системы и многие другие функции реализованы в персональном компьютере.

Для более экономичного построения ИИС целесообразно использовать мобильную систему анализа качества воды на основе погружного зонда [117]. Это позволит получать достаточно подробную информацию от наблюдательных скважин в реальном режиме отбора воды из источника.

1.4 Формализация описания целевой региональной программы водоснабжения

В процессе системного анализа методов управления было принято решение использовать регуляризирующий байесовский подход (РБП) и Байесовские Интеллектуальные Технологии (БИТ), развиваемый профессором Прокопчиной С.В. [55 – 60, 62], в качестве концептуального подхода к созданию системы управления проектами промышленного или хозяйственно-бытового водоснабжения в рамках целевой региональной программы. В частности вопросы, близкие к задачам, решаемым в настоящей диссертации, рассмотрены в работах [58,59]. Однако, в них не предложены методы и алгоритмы принятия решений при отборе объектов регионального водохозяйственного комплекса, не рассмотрены задачи оптимального выбора состава технологических схем систем промышленного водоснабжения.

Байесовские Интеллектуальные Технологии - универсальное средство для снятия неопределенности, верификации и уточнения гипотез по мере поступления новых данных. В их основу положена концепция накопления информационных ресурсов и постепенного наращивания информационных и аналитических возможностей системы управления без принципиального изменения ее структуры и инструментальных средств. При этом информация может быть не только численной, но и лингвистической, что дает возможность учитывать мнение экспертов и различные позиции по рассматриваемым вопросам.

Целью системы управления является выработка управленческих решений

$$\Phi_t = U\varphi_{j^b}$$

где $j = 1, J$, (J - число этапов проекта), переводящих систему объекта в требуемые промежуточные (соответствующие этапам проекта) и окончательное состояния $G_T^{(0)}$. При использовании РБП и БИТ регуляризация решений достигается путем введения системы специальных шкал (шкал с динамическими ограничениями ШДО) для получения устойчивых решений возникающих в проекте задач оценивания, нормирования, контроля, планирования, прогнозирования или выработки управленческих решений.

Мероприятия F_t , предусмотренные в проекте, представляющие собой воздействия на объект и обеспечивающие целенаправленное преобразование ресурсов Z_t в условиях Y_t сложившихся внутренней и внешней ситуации и инициирующих их управленческих решений Φ_t , можно представить в виде последовательности мероприятий этапов f_t реализуемых в рамках проекта за период T :

$$F_t : \{f_{jt} | Z_t; Y_t; \Phi_t\}$$

где $Z_t = \{z_{it}\}$, $i = 1, I$; $Y_t = \{y_{kt}\}$, $k = 1, K$; $\Phi_t = \{\varphi_{jt}\}$, $j = 1, J$.

Условия реализации проекта Y_t определяются полнотой априорной информации, наличием ограничений и граничных условий проекта O_t проектных требований M_t (в том числе и метрологических) и могут быть представлены в виде кортежа:

$$Y_t = \langle A_t; O_t; M_t \rangle,$$

где $A_t = \{a_{it}\}$, $i = 1, I$, $O_t = \{o_{jt}\}$, $j = 1, J$,

$M = \{m_{zt}\}$, $z = 1, L_t$.

В реальной проектной ситуации из-за имеющейся неопределенности информации и рисков последовательность этапов не может быть жестко определена заранее на этапе первоначального планирования, но должна корректироваться управляющим объектом в ходе проекта в зависимости от ситуаций. Свойства объекта проектирования $G_t^{(OE)}$ и его внешнего окружения $G_t^{(E)}$, а также их взаимодействия меняются во времени реализации проекта.

Внешнюю среду составляют субъекты и объекты G_{it} , $i = 1 \dots I_t$, оказывающие влияние на проект и объект проектирования, а также на систему управления проектом (субъекта управления), что может быть записано в виде композиции (1.4), где символом $*$ обозначено действие байесовской свертки отдельных элементов G_j в целостную структуру модели внешней среды:

$$*_{i=1}^{I_t} G_{0t}^E . \quad (1.4)$$

Взаимодействие проекта и факторов внешней среды представлено на рисунке 1.4, где приняты условные обозначения с уточнениями их содержания применительно к программе:

G_t^{E1} - владельцы проекта – Правительство Самарской области в лице министерства жилищно-коммунального хозяйства Самарской области, G_t^{E2} - природная среда Самарской области, G_t^{E3} - экономическое окружение: техногенная и производственная инфраструктура Самарской области, финансово-экономические институты, G_t^{E4} - социально-культурное окружение (средства массовой информации, общественность), G_t^{E5} - конкуренты проекта – частные компании, работающие по собственным планам развития, G_t^{E6} - субподрядчики (поставщики, консультанты), G_t^{E7} - частные инвесторы, G_t^{E8} - партнеры по консорциуму, G_t^{E9} - заказчики услуг водоснабжения (промышленные предприятия, городские округа и муниципальные районы), G_t^{E10} - политическое окружение, G_t^{E11} - техническое окружение (существующие системы и технологии).

Условия проектирования для модели объекта проектирования во взаимосвязи с внешней средой могут быть представлены в виде:

$$Y_t^{(OE)} = Y_t^{(O)} * Y_t^{(E)}$$

Используя выражение (1.4), модель объекта проектирования с учетом влияния среды имеет вид:

$$G_t^{(OE)} = \left\{ \left\{ \begin{matrix} I_t \\ * \\ i=1 \end{matrix} Q_{it}^{(0)} \right\} * \left\{ \begin{matrix} L_t \\ * \\ l=1 \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} J_t \\ * \\ j=1 \end{matrix} Q_{ojt}^{(Ei)} \right\} \right\} * Y_t \right\},$$

где $Q_{it}^{(0)}$ - кортеж свойств компонента внешней среды G_{it} .

Для всех, указанных на рисунке, типов компонентов внешней проектной среды проектируются свои подсистемы управления, взаимоувязанные с основной системой управления гиперкубом единообразно построенных и сопряженных шкал типа шкал с динамическими ограничениями (ШДО).

Методологические основы построения ШДО и их применения для оценивания, измерений, контроля (аудита) процессов и ситуаций, прогнозирования и генерации управленческих решений подробно рассмотрены в [60-62].

Определяя целевую функцию (f^1, f^2, \dots, f^k) в зависимости от совокупности критериев - целевых показателей f^k программы, сформулируем многокритериальную задачу оптимизации управления проектом P_n на каждом этапе программы:

$$\begin{aligned} \max \{ & f^1(U_{nj}), \dots, f^k(U_{nj}) \}, \\ & U_{nj} \in \Omega \end{aligned} \quad (1.5)$$

где $f^l(U_{nj}), l = \overline{1, k}$ - функции зависимости показателей программы от управляющих решений, $\Omega = \{U_{nj} \in \mathfrak{R}^k\}$ - область допустимых решений на параметрическом множестве.

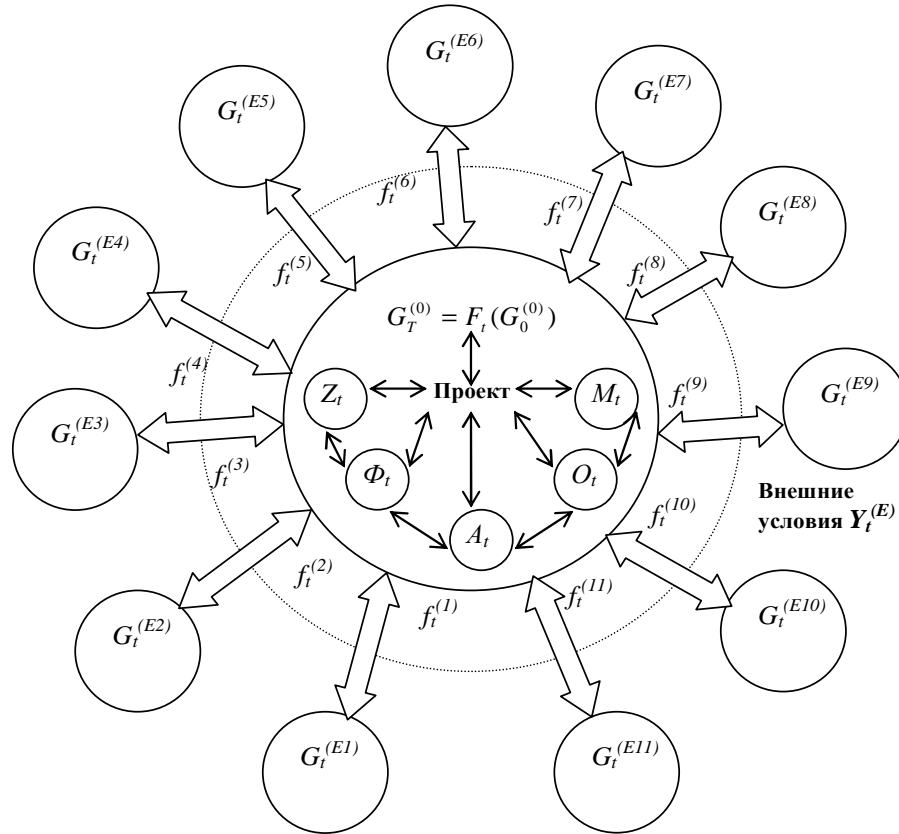


Рисунок 1.4 - Взаимодействие проекта с внешней средой

В результате реализации БИТ для указанных выше задач на соответствующих им ШДО получаются решения в виде регуляризованных байесовских оценок (РБО) $\{h_{kt}^{(Q)} / \{MX\}_{kt}\}$, представляющих собой совокупность альтернативных решений с определенной апостериорной вероятностью.

Альтернативы определяются в соответствии с оптимизационным уравнением БИТ в виде:

$$\{h_{kt}^{(Q)} / \{MX\}_{kt}\} = \{ \text{argextr } C [\text{ }_j (\{X_{it}\} * Y_t^{(OE)} * G_t^{(OE)})] \},$$

где h_k - k -ое регуляризованное значение свойства $Q^{(0)}$ в момент времени t , X_{it} - поступающая информация для генерации управленческих решений от источников информации в соответствии с выражением (1.4).

Последовательность мероприятий F_t , составляющих проект, может быть представлена в виде взаимоувязанных во времени РБО решений последовательности этапов f_t :

$$\{h_{kt}^{(F_t)}\} = *_{j=1}^{J_t} \{h_{kt}^{f_{jt}}\},$$

где $k = 1, K_b$, K_t - число альтернативных управляющих решений, $j = 1, J_t$.

Решение о реализации последующего этапа проекта находится в виде списка упорядоченных по вероятности альтернатив как решение уравнения вида:

$$\left\{ h_{kt}^{(f_{jt})} \mid \left\{ MX_{kt}^{(f_{jt})} \right\} \right\} = \left\{ \arg \text{extr } C \left[\varphi_{jt} \left(Z_t * Y_t^{(OE)} * G_t^{(OE)} * h_{t-1}^{(f_{jt})} \right) \right] \right\}.$$

Комплекс метрологических характеристик $\left\{ MX_{kt}^{f_{jt}} \right\}$ включает показатели РБО по точности, надежности и апостериорной достоверности. Последняя величина может быть вычислена по модифицированной формуле Байеса:

$$P \left(h_{kt}^{(F_t)} \right) / G_t^{(OE)} = \frac{P^a \left(h_{kt-1}^{(F_t)} \mid G_{t-1}^{(OE)} \right) \circ P \left(G_t^{(OE)} \mid h_{kt}^{(F_t)} \right)}{\sum_{j=1}^J P^a \left(h_{jt-1}^{(F_t)} \mid G_{t-1}^{(OE)} \right) \circ P \left(G_t^{(OE)} \mid h_{jt}^{(F_t)} \right)}.$$

1.5 Жизненный цикл региональной программы водоснабжения и водоотведения

Для отбора потенциальных объектов для включения в региональную часть государственной программы «Чистая вода» необходимо провести анализ состояния с водоснабжением в городских округах и муниципальных образованиях и анализ источников водоснабжения по параметрам воды.

В предыдущие годы формирование инвестиционных государственных программ зачастую проходило без системного анализа объектов, не проводилась оптимизация инвестиций в зависимости от важности объектов, от природных и техногенных факторов. Решение о включении объектов в программу принималось на основе просьб администраций муниципальных образований без взвешенного учета всех факторов.

Другим отрицательным моментом являлось то, что ценообразование проектирования и строительства производилось без тщательной предпроектной подготовки. Это приводило к необходимости дополнительных инвестиций после

проведения изыскательских работ и начала проектирования систем водоснабжения.

Для устранения указанных недостатков предлагаемая процедура (рисунок 1.5) включает этапы системного анализа, предпроектного этапа и этапа проектных и строительно-монтажных работ.

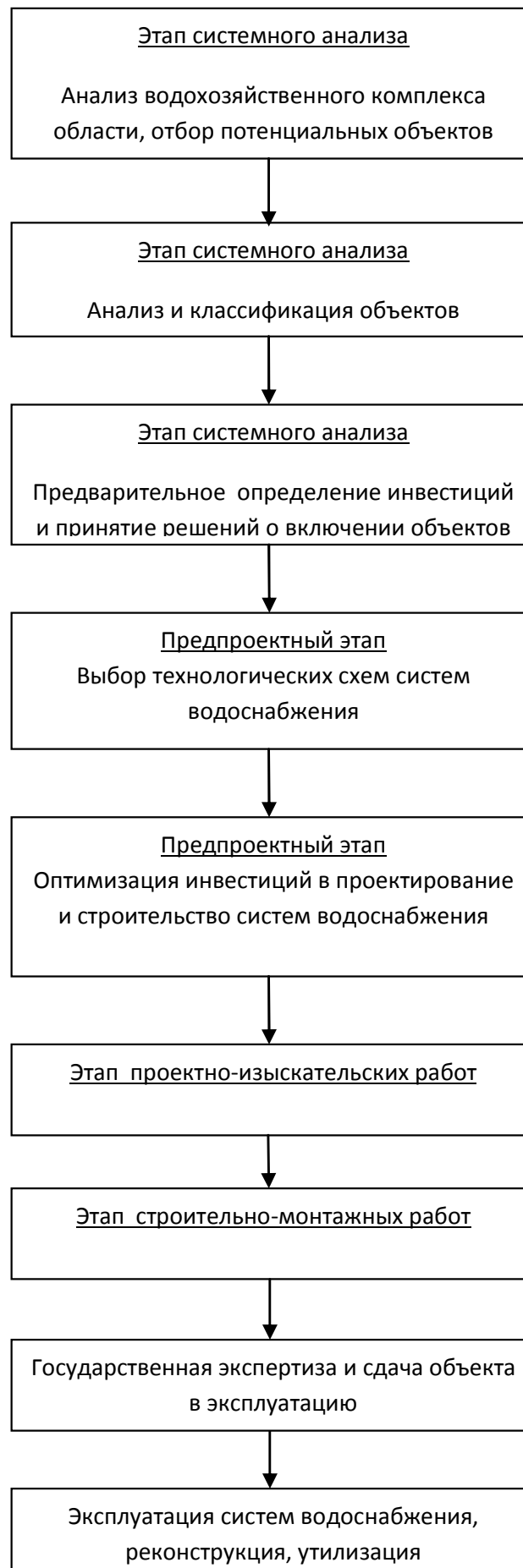


Рисунок 1.5 - Жизненный цикл региональной программы водоснабжения

1.6 Задача создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения

Как было показано выше, на всех этапах управления строительством и эксплуатацией промышленных систем водоснабжения необходимо принимать ряд решений в условиях неопределенности и недостаточности полных и достоверных данных. В связи с этим основной задачей диссертационного исследования является создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений, базирующейся на совокупности системных моделей управления водохозяйственным комплексом.

На начальных стадиях проектирования, как правило, не решается подробно задача анализа и выбора технологической схемы объекта или системы водоснабжения. При этом традиционный подход не учитывает поисковый характер проектирования. Принятие проектных решений будет более обоснованным и достоверным, если проводить многокритериальный выбор предпочтительного технического решения, опираясь на генерацию альтернативных вариантов. Решение этой задачи связано с привлечением средств обработки знаний, логического вывода и расчетно-логических процедур. Наличие четырех компонент (многокритериальность, знания, вывод, планирование вычислений) сочетается в интеллектуальных системах поддержки принятия решений (ИСППР).

Такие системы относятся к классу интегрированных интеллектуальных систем, сочетающих строгие математические методы и модели поиска решения с нестрогими, эвристическими (логико-лингвистическими) моделями и методами, базирующимися на знаниях специалистов-экспертов, моделях человеческих рассуждений и накопленном опыте.

Системы искусственного интеллекта, используемые в ИСППР, подразделяются на следующие основные типы [63]:

а) информационно-поисковые системы с диалоговым интерфейсом на естественном языке;

б) интеллектуальные пакеты прикладных программ для инженерных расчетов;

в) интеллектуальные программно-методические комплексы для моделирования и анализа систем;

г) экспертные системы.

Типовая архитектура ИСППР представлена на рисунке 1.6.

Архитектура разрабатываемой системы содержит все типовые компоненты, необходимые для принятия решений в области технологий водоснабжения.



Рисунок 1.6. - Типовая архитектура ИСППР

Задачи разрабатываемой в диссертации ИСППР:

1. Автоматизация процесса управления государственной целевой программой на уровне министерств и департаментов Правительства области.

2. Использование современных методов системного анализа состояния отрасли, оценки и отбора объектов водоснабжения для включения в целевую программу.

3. Использование методов информационных технологий, искусственного интеллекта и баз знаний для формирования альтернативных инвестиционных, проектных и организационных решений для лиц, принимающих решения (ЛПР).

4. Генерация альтернативных вариантов технологических решений по водообеспечению объектов в городах и муниципальных образованиях для оценки инвестиций на предпроектном этапе, выбора оптимальных технических решений, контроля выполнения проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ по объектам.

5. Возможность интеграции ИСППР в систему Электронного правительства региона.

Таким образом, можно сформулировать основные задачи дальнейших исследований в диссертации.

1. Решить задачу системного анализа промышленных объектов, городских и муниципальных объектов водоснабжения с целью их комплексной оценки для принятия решений о включении в региональную программу.
2. Разработать алгоритм генерации альтернативных технических решений по технологиям промышленного водоснабжения и водоотведения на основе баз знаний.
3. Разработать математическую модель оптимизации технических решений на предпроектных этапах выполнения работ по объектам водоснабжения.
4. Разработать и исследовать интеллектуальную систему поддержки принятия управленческих и проектных решений на этапах жизненного цикла целевой региональной программы водоснабжения и водоотведения.

Выводы

1. Анализ состояния водных ресурсов Самарской области, существующих методик управления целевой программой водоснабжения

показывает целесообразность развития интегрированного водохозяйственного комплекса области.

2. Задача строительства новых систем промышленного водоснабжения и водоотведения связана с проблемой комплексной оценки существующих систем промышленного и бытового водоснабжения с учетом использования общих водных ресурсов ограниченного объема, возможностью государственного и частного инвестирования в их развитие.

3. Практика управления целевыми программами регионального водоснабжения приводила к тому, что ценообразование проектирования и строительства производилось без тщательной предпроектной подготовки. Это приводило к необходимости дополнительных инвестиций после проведения изыскательских работ и начала проектирования систем водоснабжения. Не использовались современные научные методики и информационные технологии для принятия решения при управлении проектами водоснабжения и в процессе эксплуатации промышленных систем водоснабжения.

4. Проведенный анализ предметной области показал, что решение выявленных проблем лежит на пути разработки системных моделей водохозяйственного комплекса и создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений.

Глава 2. Системные модели оценки и классификации объектов водоснабжения и водоотведения

2.1 Комплекс системных моделей поддержки принятия решений при управлении региональным водоснабжением промышленных предприятий

С целью учета большинства вышеперечисленных факторов при управлении развитием промышленных и бытовых систем водоснабжения в диссертации разработан комплекс системных моделей, служащих основой для построения алгоритмов принятия решений. Это один из основных научных результатов диссертационной работы.

Иерархия системных моделей принятия решения [4, 5] показана на рисунке 2.1.

Основной задачей системного анализа, выполняемой при формировании региональной программы водоснабжения, является классификация объектов промышленного водоснабжения по эффективности с целью оценки необходимости включения их в программу. Модель классификации $M_1: CCR_p$ - Output строится на основе методологии DEA (Data Envelopment Analysis) [65] и представляет собой ориентированную на выход модель Чарнеса-Купера-Роуда с учетом постоянного коэффициента отдачи. Это задача дробно-линейного программирования, которая находит максимум функционала эффективности n -го объекта из совокупности N рассматриваемых объектов:

$$f_n = \max\left(\frac{u_{1n}y_{1n} + u_{2n}y_{2n}}{v_{1n}x_{1n} + v_{2n}x_{2n} + v_{3n}x_{3n}}\right),$$

$$\frac{u_{1n}y_{1j} + u_{2n}y_{2j}}{v_{1n}x_{1j} + v_{2n}x_{2j} + v_{3n}x_{3j}} \leq 1, \quad j = \overline{1, N},$$

$$n = \overline{1, N},$$
(2.1)

где $u_{1n}, u_{2n}, v_{1n}, v_{2n}, v_{3n}$ - неизвестные весовые коэффициенты.



Рисунок 2.1 - Иерархия системных моделей

Параметры в выражении (2.1) имеют следующие значения для каждого из n -го объекта: y_{1n} - производительность водозаборов, y_{2n} - объем водопотребления, x_{1n} - численность населения, x_{2n} - площадь территории муниципального образования, x_{3n} - степень износа водопроводных сетей в целом по

территориальному образованию. Показатель эффективности f_n лежит в диапазоне $[0;1]$.

Преобразование задачи (2.1) к задаче линейного программирования производится по методике, предложенной в [65]. Задача (2.1) решается N раз, в результате чего получают показатели эффективности для каждого объекта. На основе этих показателей проводится сравнительный анализ и классификация объектов, предлагаемых к включению в программу.

В каждом классе объектов, сравнимых по эффективности, строится искусственный эффективный объект [66]. Для этого используется модель M_2 : VCC_p -Output – модель Банкера –Чарнеса – Купера, ориентированная на выход с учетом переменного коэффициента отдачи. В результате искусственный объект для заданного класса реальных объектов имеет эффективность больше, чем 1. Он используется как ориентир для определения целей, которые должны быть достигнуты реальными объектами класса. Соответственно, рассчитываются предварительные значения инвестиций, необходимых для достижения данных целей.

На следующем этапе для отобранных к включению в программу территориальных образований проводится этап анализа и классификации систем промышленного и бытового водоснабжения в каждом населенном пункте. Здесь применяется модель M_3 : CCR_p – Output, аналогичная модели M_1 . При этом на основе сравнительного анализа строятся классы систем водоснабжения, близких по показателю эффективности.

Затем для уточнения используется методика кластерного анализа водозаборов по нормативным параметрам качества воды, изложенная в работе [67]. Модель M_4 продуцирует кластеры, объединяющие водозаборы по группам загрязнения воды. Объединение кластеров дает значительно меньшее число вариантов технологических решений для реализации водозаборов, для которых следует проводить сложные процессы очистки воды.

Следующей важной задачей при управлении водохозяйственным комплексом является генерация множества альтернативных решений для технологических

схем очистки воды для каждого объекта из кластера водозаборов. С этой целью была разработана интеллектуальная система поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки ИСППР ТВ [7]. В основе работы этой системы лежит продукционная модель вывода M_5 , использующая базы фактов для поверхностных источников и подземных источников воды и базы правил выбора технологических схем на основе классификатора, разработанного в НИИ ВОДГЕО [68, 109].

В результате выполнения этого этапа анализа получаем набор возможных технологических схем водоподготовки, которые следует оценить по заданным критериям.

Для этого используется следующая оптимизационная модель M_6 , где целевая функция имеет вид:

$$C_i^P = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{J_i} f_{ij}(S_{ij}) x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2.2)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если выбран вариант } j \text{ в проекте } i \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где функции $f_{ij}(S_{ij}) = \sum_{k \in K_{ij}} a_k^{ij} s_k^{ij}$, где a_k^{ij} - весовые коэффициенты компонентов s_k^{ij} вектора S_{ij} , C_i^P - величина инвестиций в проект i . Ограничения задачи оптимизации и примеры ее практического использования рассмотрены в следующих главах диссертации.

Решение задачи минимизации (2.2) с ограничениями для всех систем водоснабжения позволяет определить параметры технологических решений и минимизировать инвестиционные вложения в объект.

После того, как объект промышленного водоснабжения включен в региональную программу, начинается этап проектно-изыскательских работ. Теперь система ИСППР ТВ может использоваться как компонент САПР при проектировании конкретного оборудования водозаборов, систем фильтрации, водопроводных сетей, энергетического оборудования и других устройств. В этом

случае применяется производственная модель M_7 , которая, в отличие от модели M_6 , опирается на расширенную базу знаний об используемом технологическом и строительном оборудовании в системах водообеспечения.

Система ИСППР ТВ ориентирована на анализ и поддержку принятия решений по состоянию не только в данный момент времени. Она содержит блок прогноза состояния качества воды в водозаборах, роста потребления воды, влияния техногенных, антропогенных и природных факторов. Эти процессы инерционны, тем не менее, необходим постоянный мониторинг, данные которого используются в ИСППР ТВ.

На базе прогноза могут быть построены границы эффективности систем водоснабжения, которые анализируются с использованием методологии DEA и моделей M_1 , M_2 и M_3 .

2.2 Группировка водозаборов по нормативным показателям качества воды

2.2.1 Выбор критериев кластеризации

Для оценки полученных данных по качеству воды и применения методики кластеризации сформируем критерии отнесения водозаборов к различным кластерам по показателям качества забираемой воды (таблица 2.1).

Выбор критериев основан на анализе всех данных по Самарской области и выделении для них значащих критериев, то есть таких, которые встречаются с высокой частотой.

Количество водозаборов, вода из которых полностью соответствует нормам, равно 278 (кластер П).

Количество водозаборов с непригодной водой равно 61 (кластер НП).

Остальные водозаборы распределены между кластером ППО «Пригодна после обработки» и кластером УП «Условно пригодна» (21 водозабор).

Основываясь на критериях из таблицы 2.1, построим иерархическое дерево кластеров источников воды, которое представлено на рисунке 2.2.

Таблица 2.1 – Признаки кластеризации водозаборов по параметрам воды

NN пп	Код признака	Признак качества воды
1	П	Пригодна (соответствует всем требованиям СанПиН 2.1.4-1074-01)
2	УП	Условно пригодна
3	НП	Непригодна (не соответствует СанПиН 2.1.4-1074-01)
4	П1	Пригодна после умягчения
5	П2	Пригодна после обеззараживания
6	П3	Пригодна после очистки от органических веществ
7	П4	Пригодна после обезжелезивания
8	Ж1	Жесткость повышена в допустимых пределах
9	Ж2	Жесткость превышает норму
10	М1	Минерализация повышена в допустимых пределах
11	Ф1	Содержание железа повышено в допустимых пределах
12	МГ1	Содержание марганца повышено в допустимых пределах
13	Ц1	Цветность повышена в допустимых пределах
14	Х1	Содержание хлоридов превышает норму
15	С1	Содержание сульфатов превышает норму.
16	ППО	Пригодна после обработки

Отметим, что кластеры второго и третьего уровня могут объединяться, образуя кластер с комплексным критерием. Например, П1,П3,М1 соответствует критерию: «Пригодна после умягчения и очистки от органических веществ, минерализация повышена в допустимых пределах»; УП, М1,С1 – «Условно пригодна, минерализация повышена в допустимых пределах, содержание сульфатов превышает норму».

2.2.2 Комплексные критерии пригодности питьевой воды

В большинстве районов Самарской области присутствует целый набор факторов, определяющих качество воды, забираемой из подземных и

поверхностных источников. В связи с этим для конкретных населенных пунктов характерны комплексные критерии, по которым строятся кластеры. В таблице 2.2 приведены объединенные кластеры, включающие в себя главные критерии П1 – П5, а также сопутствующие критерии – признаки: Ж1, М1, МГ1, Ц1, Х1 и С1.

Рассматриваются все возможные, с точки зрения технологической реализации, критерии. Например, сочетание П4, Ф1 не имеет смысла, так как обезжелезивание воды нецелесообразно в связи с нахождением концентрации железа в воде в допустимых пределах, несмотря на то, что содержание его повышено. В таблице 2.2 в столбцах указано число водозаборов, попавших в соответствующие кластеры.

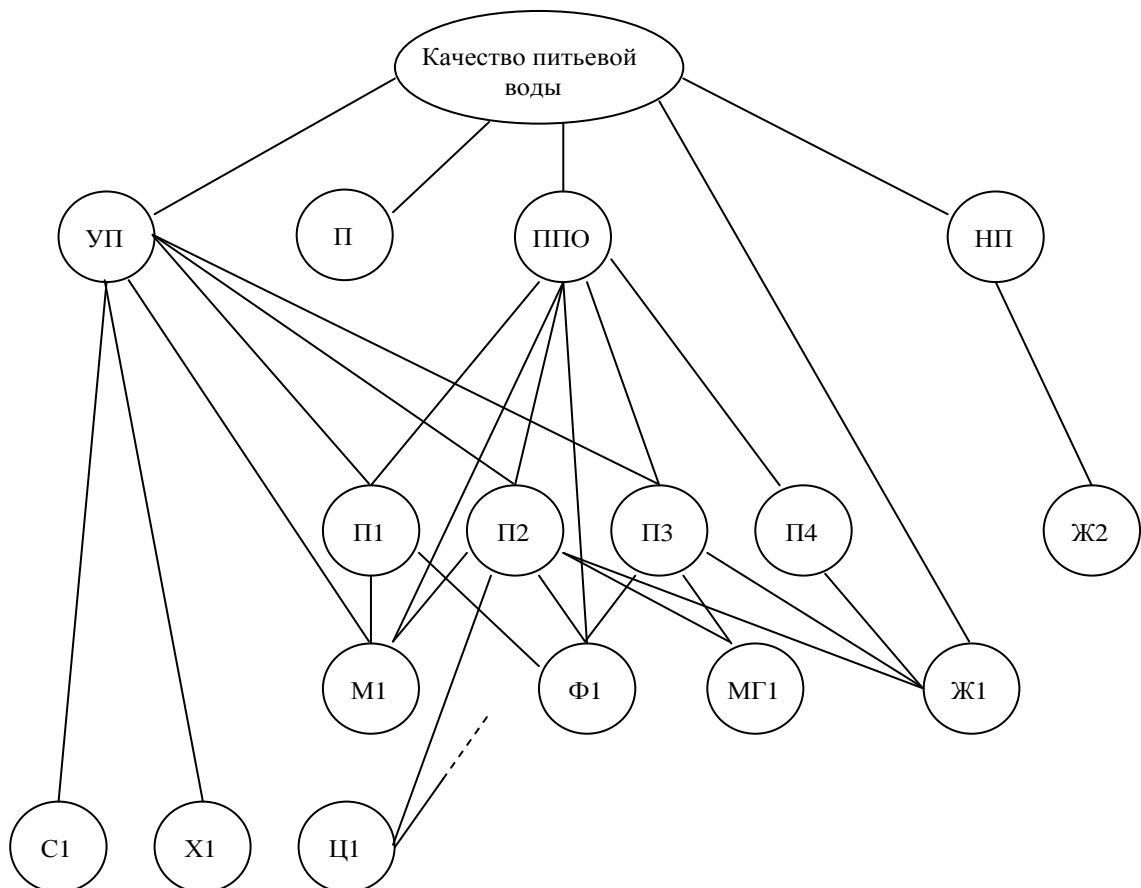


Рисунок 2.2 – Иерархическое дерево кластерных признаков системных моделей

Таблица 2.2 – Кластеры водозаборов Самарской области

Кластеры первого уровня		Объединение двух кластеров		Объединение трех кластеров	
Код	Количество водозаборов	Код	Количество водозаборов	Код	Количество водозаборов
П1	35	П1, П2	5	П1, П2, П3	2
П2	53	П1, П3	5	П1, П2, П4	3
П3	11	П1, П4	2	П1, П3, П4	1
П4	49	П2, П3	8	П2, П3, П4	2
-	-	П2, П4	8	-	-
		П3, П4	7		

Анализ данных по показателям качества воды по районам Самарской области показал, что объединение четырех кластеров П1, П2, П3, П4 не встречается. В то же время в некоторых районах наблюдается повышенное содержание хлоридов (X1) и сульфатов (С1), что относит воду данного состава к кластеру УП.

Таблица 2.2 позволяет также группировать водозаборы по районам Самарской области в разрезе методов водоподготовки по различным технологическим схемам. На рисунке 2.3 показана гистограмма процентного распределения водозаборов по кластерам таблицы 2.2.

Полученные результаты дают возможность проанализировать современные технологические методы подготовки воды и принять решение об эффективности той или иной технологической схемы.

Из рисунка 2.3 видно, что 76,8 % водозаборов либо не требует водоподготовки, либо требует только один из типов очистки воды.

Также видно, что редко встречаются комбинации из трех факторов:

а) жесткости, бактериологического заражения и содержания органических веществ (П1, П2, П3);

б) железа, бактериологического заражения и содержания органических веществ (П2, П3, П4));

в) жесткости, содержания органических веществ и железа (П1, П3, П4).

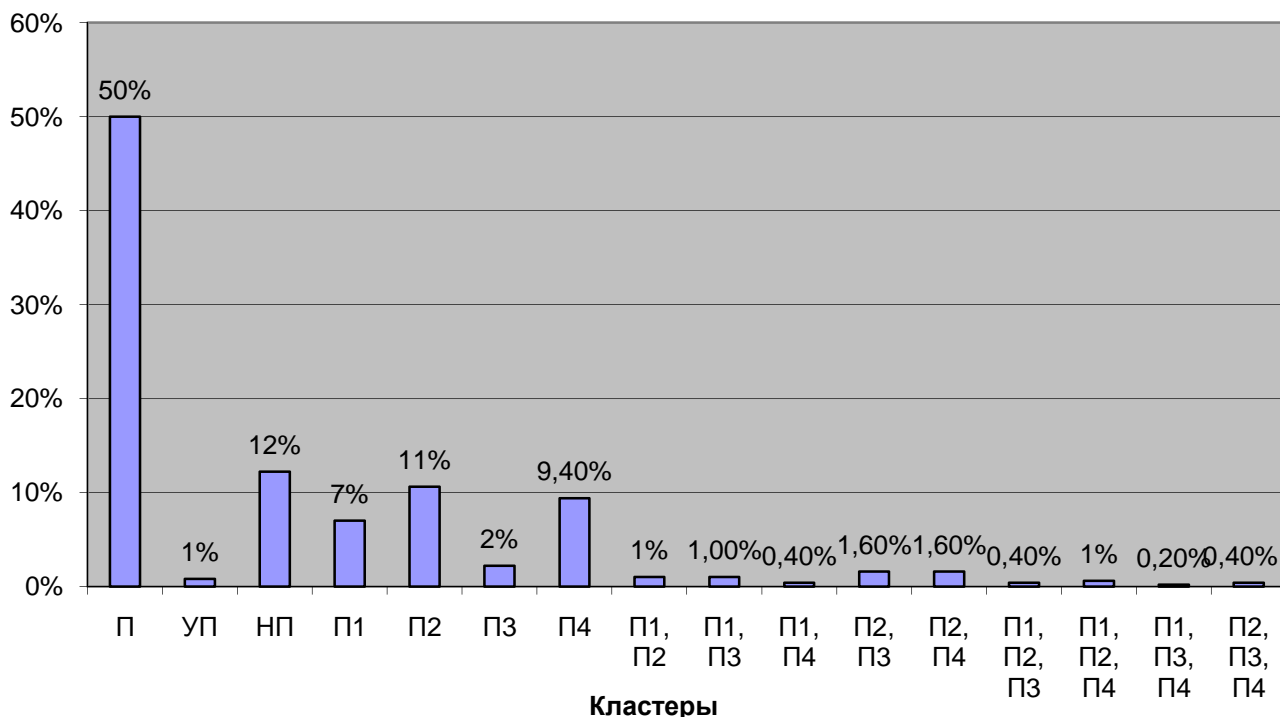


Рисунок 2.3 – Диаграмма распределения водозаборов по кластерным признакам

2.3 Применение методологии DEA для оценки и классификации объектов водоснабжения

На практике часто возникают задачи сравнения между собой и упорядочивания сложных систем по некоторому интегральному свойству, неподдающемуся непосредственному измерению. Подобные сложности возникли и при комплексной оценке и классификации районов и крупных городов Самарской области по эффективности водоснабжения. Избежать этих проблем позволяет применение методологии DEA, которая позволяет получить интегральный показатель эффективности для каждого из объектов, включенных в рассматриваемую систему, не требуя при этом априорного знания весовых коэффициентов для переменных. Таким образом, метод DEA очень полезен в системах поддержки принятия решений, когда требуется классифицировать какие-либо объекты на основе оценки их эффективности.

Таблица 2.3 – Данные по городам и районам Самарской области

Города, районы области	Численность населения, тыс. чел.	Площадь, км2	Производительность водозаборов, м3/сутки	Объём водопотребления, тыс. м3
Самара	1176,7	541,382	1098821	447010
Жигулевск	60,5	60,700	56926	10830
Новокуйбышевск	115,2	86,000	47938	69500
Октябрьск	29,1	21,800	23612	3430
Отрадный	50,0	53,600	75000	23310
Похвистнево	29,0	64,500	18245	6470
Сызрань	187,8	117,000	85700	44320
Кинель	53,1	36,750	32760	11250
Тольятти	714,2	314,790	269669	267490
Чапаевск	73,9	187,490	30474	13050
Алексеевский район	13,1	1890,000	14266	950
Безенчукский район	44,7	1988,800	72420	9070
Богатовский район	15,5	824,000	8365	5440
Большеглушицкий район	21,6	2534,000	4949	1560
Большечерниговский район	20,7	2980,000	12684	25140
Борский район	24,8	2103,000	10762	1860
Волжский район	77,6	2481,000	31722	12560
Елховский район	10,2	1201,000	2931	12280
Иса克林ский район	14,8	1578,000	7318	1270
Камышлинский район	11,8	823,500	1836	640
Кинельский район	30,5	2103,700	15504	1450
Кинель-Черкасский район	49,0	2469,000	15871	1260
Клявлинский район	16,4	1160,000	7210	920
Кошкинский район	25,2	1750,000	12776	940
Красноармейский район	19,2	2190,000	8922	6880
Красноярский район	55,0	2310,000	46294	5660
Нефтегорский район	32,3	1350,000	16674	7660
Пестравский район	18,3	49,570	7287	1760
Похвистневский район	30,2	2130,000	9970	4790
Приволжский район	24,6	1379,300	20600	16730
Сергиевский район	49,0	2720,000	14436	24620
Ставропольский район	45,1	3662,000	17192	65330
Сызранский район	24,0	1887,000	11686	2390
Хворостянский район	16,1	1845,000	17034	1520
Челно-Вершинский район	18,8	1162,000	8728	640
Шенталинский район	18,2	1338,200	5226	640
Шигонский район	23,6	2134,400	16329	3200

Объектами классификации являются 10 крупных городов и 27 районов Самарской области. Данные по ним приведены в таблице 2.3.

Метод Data Envelopment Analysis был предложен в 1978 г. американскими учеными A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes [69], которые основывались на идеях M.J. Farrell [70]. Этот метод используется для оценки эффективности функционирования однородных объектов в различных сложных производственных системах. Такими объектами могут быть промышленные и сельскохозяйственные предприятия, банки, учреждения здравоохранения и образования, органы управления и правосудия и т.д. [41, 42, 71-88]. Методология DEA находится в постоянном развитии [41, 42, 75, 76, 88-92]. В литературе имеется ряд описаний применения DEA российскими исследователями [37, 38, 66, 93-95].

Ключевой термин методологии DEA - "эффективность функционирования". Здесь рассматривается эффективность, с которой объекты, объединенные в некоторый кластер, преобразуют входы в выходы, при этом выбор входных и выходных параметров может быть неоднозначным и меняться в разных моделях..

2.4 Формирование комплексных критериев оценки и классификации объектов водоснабжения

Пусть в регионе имеется N территориальных образований, каждый из которых является объектом нашего анализа. Для оценки эффективности водоснабжения каждый объект представлен двумя входами: X_{1n} – численность населения города или района, X_{2n} - площадь территории, занимаемой объектом водоснабжения, и тремя выходами: Y_{1n} - производительность водозаборов, Y_{2n} – объем водопотребления, $Y_{3n} = \ln(100/I_n)$ - показатель качества водопроводных сетей; I_n - процент износа водопроводных сетей объекта. Сформированы шесть видов частных критериев водообеспечения – удельные производительности водозаборов, объемы потребления и износ водопроводных сетей на одного жителя и на единицу площади для каждого территориального образования:

$$y_{1n} = \frac{Y_{1n}}{X_{1n}}; y_{2n} = \frac{Y_{2n}}{X_{1n}}; y_{3n} = \frac{Y_{3n}}{X_{1n}}; y_{4n} = \frac{Y_{1n}}{X_{2n}}; y_{5n} = \frac{Y_{2n}}{X_{2n}}; y_{6n} = \frac{Y_{3n}}{X_{2n}};$$

$$n = \overline{1, N};$$

где N – число территориальных образований в анализируемой группе объектов.

На рисунке 2.4 приведены критерии многоуровневой оценки эффективности водоснабжения.

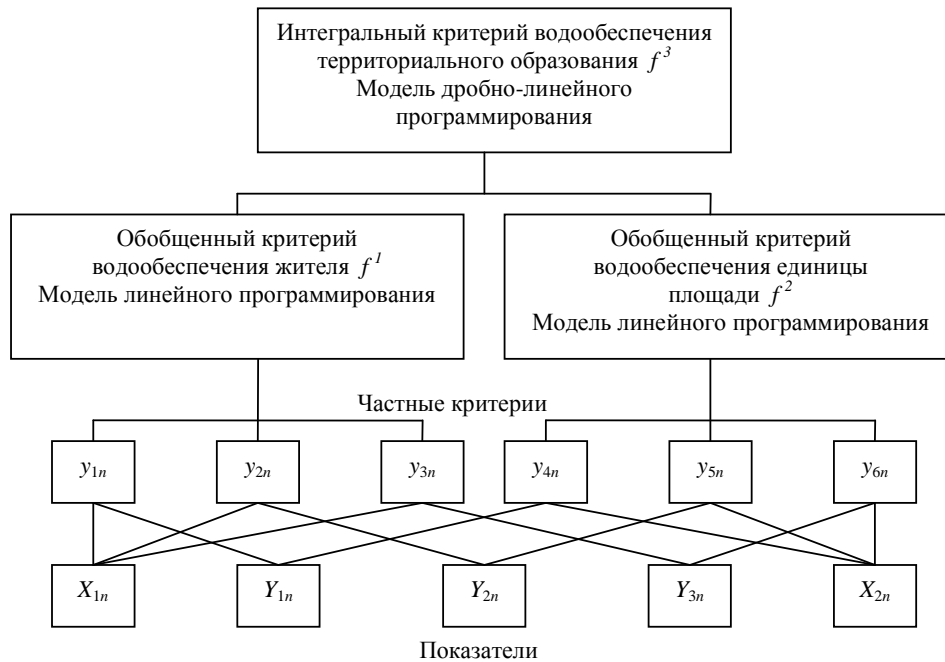


Рисунок 2.4 - Иерархия критериев водообеспечения территориального образования

Анализ показывает, что по разным частным критериям получают различные оценки степени водообеспеченности районов и крупных городов (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Частные критерии оценки степени водообеспеченности

Города, районы области	y_1	y_2	y_3	y_4
Самара	933,8157559	379,8844225	2029,659279	825,683159
Жигулевск	940,9256198	179,0082645	937,8253707	178,4184514
Новокуйбышевск	416,1284722	603,2986111	557,4186047	808,1395349
Октябрьск	811,4089347	117,8694158	1083,119266	157,3394495
Отрадный	1500	466,2	1399,253731	434,8880597
Похвистнево	629,137931	223,1034483	282,8682171	100,3100775

Продолжение таблицы 2.5

Города, районы области	y1	y2	y3	y4
Сызрань	456,3365282	235,9957401	732,4786325	378,8034188
Кинель	616,9491525	211,8644068	891,4285714	306,122449
Тольятти	377,5819098	374,5309437	856,6631723	849,7410972
Чапаевск	412,368065	176,5899865	162,5366686	69,6037122
Алексеевский район	1089,007634	72,51908397	7,548148148	0,502645503
Безенчукский район	1620,134228	202,9082774	36,41391794	4,560539019
Богатовский район	539,6774194	350,9677419	10,15169903	6,601941748
Большеглушицкий район	229,1203704	72,22222222	1,953038674	0,615627466
Большечерниговский район	612,7536232	1214,492754	4,256375839	8,436241611
Борский район	433,9516129	75	5,11745126	0,884450785
Волжский район	408,7886598	161,8556701	12,7859734	5,062474809
Елховский район	287,3529412	1203,921569	2,440466278	10,22481266
Исаклинский район	494,4594595	85,81081081	4,637515843	0,804816223
Камышлинский район	155,5932203	54,23728814	2,229508197	0,777170613
Кинельский район	508,3278689	47,54098361	7,36987213	0,689261777
Кинель-Черкасский район	323,8979592	25,71428571	6,428108546	0,510328068
Клявлинский район	439,6341463	56,09756098	6,215517241	0,793103448
Кошкинский район	506,984127	37,3015873	7,300571429	0,537142857
Красноармейский район	464,6875	358,3333333	4,073972603	3,141552511
Красноярский район	841,7090909	102,9090909	20,04069264	2,45021645
Нефтегорский район	516,2229102	237,1517028	12,35111111	5,674074074
Пестравский район	398,1967213	96,17486339	147,0042364	35,50534598
Похвистневский район	330,1324503	158,6092715	4,680751174	2,248826291
Приволжский район	837,398374	680,0813008	14,93511201	12,12934097
Сергиевский район	294,6122449	502,4489796	5,307352941	9,051470588
Ставропольский район	381,1973392	1448,558758	4,694702348	17,83997815
Сызранский район	486,9166667	99,58333333	6,192898781	1,266560678
Хворостянский район	1058,012422	94,40993789	9,232520325	0,823848238
Челно-Вершинский район	464,2553191	34,04255319	7,511187608	0,550774527
Шенталинский район	287,1428571	35,16483516	3,905245853	0,478254372
Шигонский район	691,9067797	135,5932203	7,650393553	1,499250375

В силу противоречивости оценок в соответствии с DEA методологией были сформированы обобщенные критерии водообеспечения жителя муниципального района или города.

Для каждого n – го объекта рассматриваем максимизируемый функционал взвешенной суммы частных критериев водообеспеченности и получаем:

а) обобщенный критерий водообеспечения одного жителя n – го территориального образования:

$$f_n^1 = \max(u_{1n} y_{1n} + u_{2n} y_{2n} + u_{3n} y_{3n}),$$

$$u_{1n}, u_{2n}, u_{3n} \in G_1 \quad (2.3)$$

при ограничениях:

$$u_{1n} y_{1j} + u_{2n} y_{2j} + u_{3n} y_{3n} \leq 1;$$

$$j = \overline{1, N}, \quad (2.4)$$

б) обобщенный критерий водообеспечения единицы площади n – го территориального образования:

$$f_n^2 = \max(u_{4n} y_{4n} + u_{5n} y_{5n} + u_{6n} y_{6n}),$$

$$u_{4n}, u_{5n}, u_{6n} \in G_2 \quad (2.5)$$

при ограничениях:

$$u_{4n} y_{4j} + u_{5n} y_{5j} + u_{6n} y_{6n} \leq 1; j = \overline{1, N}, \quad (2.6)$$

$$n = \overline{1, N};$$

где N – число объектов,

G_1, G_2 – области значений искомым весовых коэффициентов.

Весовые коэффициенты u_{in} частных критериев водообеспеченности y_{in} считаются неизвестными. Для их определения области значений G_1 или G_2 задаются системами из N линейных неравенств (2.4) или (2.6), отвечающих нормированию обобщенных показателей водообеспечения на интервале $[0; 1]$.

В общем случае модель обобщенного оценивания (2.3), (2.4) определяет N задач линейного математического программирования, каждая из которых содержит N ограничений. Отметим, что для группы городов $N=10$, а для группы районов $N=27$. Решение каждой n – й задачи даёт значение обобщённого критерия водообеспечения f_n^1 для n -ого объекта, определенное на единичном интервале $[0,1]$, и соответствующие ему весовые коэффициенты u_{1n}, u_{2n}, u_{3n} , максимизирующие этот функционал. Задачи (2.3) и (2.4) линейного программирования решаются симплекс-методом. Для каждого n – го объекта проводятся расчеты значений целевой функции f_n^1 во всех вершинах выпуклого

множества G_1 . Затем находится та вершина, в которой достигается максимальное значение целевой функции f_n^1 , принимаемое в качестве обобщенной оценки водообеспеченности для n -ого района. Аналогично по модели (2.5), (2.6) находятся весовые коэффициенты u_{4n} , u_{5n} , u_{6n} для целевой функции f_n^2 и вычисляется ее максимум на G_2 .

Результаты расчета критериев f^1 и f^2 представлены для городов в таблице 2.6, а также на рисунке 2.5 и для районов на рисунках 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6 – Обобщенные и интегральный критерии водообеспечения

Города, районы области	f1	f2	f
Самара	0,672819249	1	1
Жигулевск	0,597064937	0,462060495	0,051806436
Новокуйбышевск	0,543204119	0,951042073	0,155477506
Октябрьск	0,505156574	0,533645857	0,021488486
Отрадный	1	0,689403264	0,068254975
Похвистнево	0,434884205	0,139367341	0,01660416
Сызрань	0,357029874	0,45407746	0,09914767
Кинель	0,422580196	0,439201092	0,029813773
Тольятти	0,395938867	1	0,598398246
Чапаевск	0,302067814	0,084095902	0,029193978
Алексеевский район	0,672171241	0,003718924	0,012983006
Безенчукский район	1	0,017940902	0,065907004
Богатовский район	0,462537923	0,007852028	0,01216975
Большеглушицкий район	0,153314193	0,00096225	0,004503918
Большечерниговский район	0,982756798	0,009928014	0,056240353
Борский район	0,273350773	0,002521335	0,009794134
Волжский район	0,292042847	0,006299566	0,028869124
Елховский район	0,831116834	0,012032856	0,027471421
Исаклинский район	0,311559414	0,002284874	0,006659865
Камышлинский район	0,107025524	0,001098464	0,001670882
Кинельский район	0,313756638	0,003631088	0,014109668
Кинель-Черкасский район	0,199920447	0,003167088	0,014443663
Клявлинский район	0,271632897	0,003062345	0,006561578
Кошкинский район	0,312927237	0,003596944	0,011627007
Красноармейский район	0,429744792	0,003718515	0,015391155
Красноярский район	0,519530466	0,00987392	0,042130611
Нефтегорский район	0,387164947	0,006834218	0,017136082

Продолжение таблицы 2.6

Города, районы области	f1	f2	f
Пестравский район	0,258115757	0,072428037	0,006631653
Похвистневский район	0,251493639	0,00270356	0,010715644
Приволжский район	0,79368623	0,014338174	0,037426456
Сергиевский район	0,426818684	0,010652033	0,055077068
Ставропольский район	1	0,020994604	0,146148856
Сызранский район	0,310824503	0,003051201	0,010635035
Хворостянский район	0,653039979	0,004548803	0,01550207
Челно-Вершинский район	0,286553615	0,003700714	0,007943059
Шенталинский район	0,177233992	0,001924089	0,004756007
Шигонский район	0,440104855	0,003769299	0,014860473

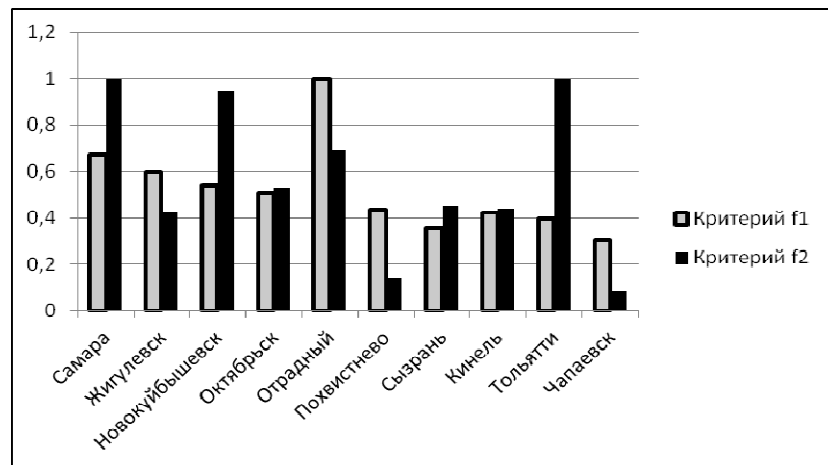


Рисунок 2.5 - Обобщенные критерии водообеспечения для городов Самарской области

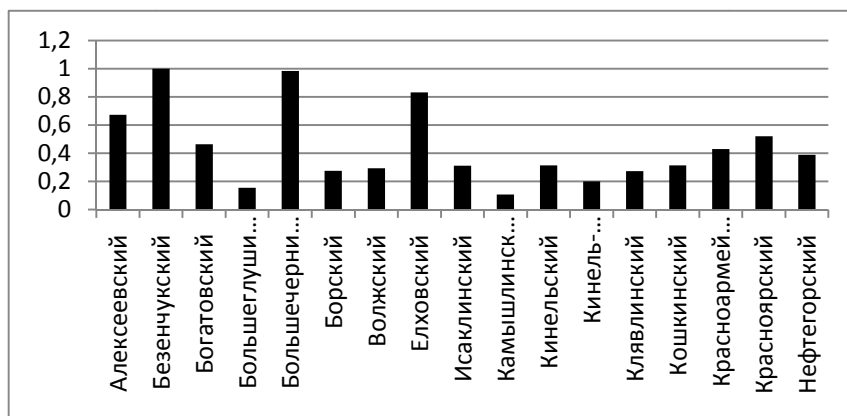


Рисунок 2.6 - Обобщенный критерий водообеспечения на одного жителя для районов Самарской области

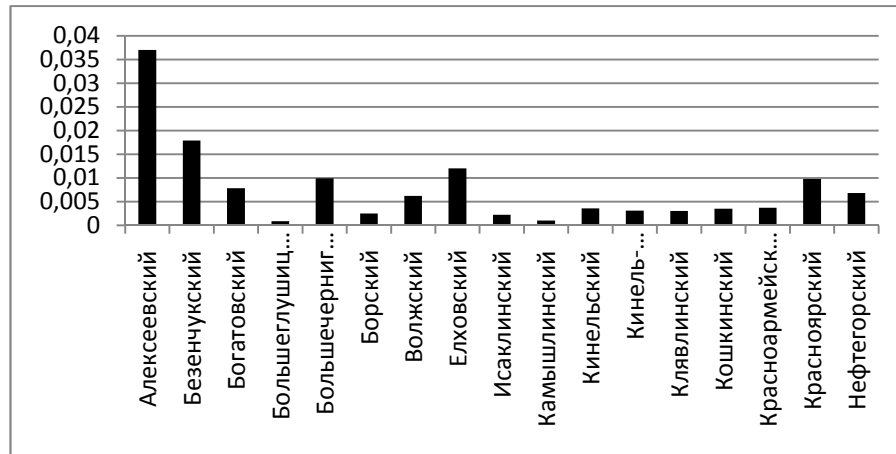


Рисунок 2.7 - Обобщенный критерий водообеспечения на единицу площади для районов Самарской области

Из графиков следует, что обобщенные критерии водообеспеченности на одного жителя и на единицу площади для разных объектов не позволяют сделать однозначных выводов. Для получения системной обобщенной оценки водообеспеченности необходимо сформировать интегральный критерий водообеспечения.

Критерий f_n^3 системной водообеспеченности, характеризующий интегральную оценку водоснабжения n -ого объекта, представлен в виде модели CCR_D-Output, ориентированной на выход с учетом постоянного эффекта масштаба [40]:

$$f_n^3 = \max\left(\frac{u_{7n}Y_{1n} + u_{8n}Y_{2n} + u_{9n}Y_{3n}}{v_{1n}X_{1n} + v_{2n}X_{2n}}\right), \quad (2.7)$$

$$u_{7n}, u_{8n}, u_{9n}, v_{1n}, v_{2n} \in G_3$$

с ограничениями

$$\frac{u_{7n}Y_{1j} + u_{8n}Y_{2j} + u_{9n}Y_{3j}}{v_{1n}X_{1j} + v_{2n}X_{2j}} \leq 1, \quad j = \overline{1, N}, \quad (2.8)$$

$$n = \overline{1, N}.$$

Формулировка (2.7) - (2.8) оценивания системной эффективности водообеспечения определяет N задач дробно-линейного программирования с N ограничениями. Для решения этих задач используем преобразование Чарнеса – Купера и сведем к решению двойственных задач линейного программирования

[65]. При этом проводятся соответствующие преобразования системы ограничений, определяющих область G_3 . Полученная линейная задача решалась с помощью симплекс-метода.

Подробнее методика Чарнеса-Купера применительно к задаче дробно-линейного программирования вида (2.7 – 2.8) рассмотрена в следующем пункте, так как в нем формулируется аналогичная задача.

Результаты расчета интегрального критерия f_n^3 , характеризующего системную эффективность водообеспечения городов Самарской области, представлены в таблице 2.5, а также на рисунке 2.8.

2.5 Построение искусственных объектов по методологии P-DEA

Для каждого кластера объектов может быть поставлена задача определения путей дальнейшего повышения эффективности. Будем использовать модель практической границы P-DEA [96], которая позволяет на базе реальных эффективных объектов сформировать искусственные объекты с эффективностью, большей единицы. Такие искусственные объекты являются целью для дальнейшего повышения эффективности реальных объектов.

На рисунке 2.8 приведен пример границы и искусственных объектов в плоскости двух критериев. Здесь показаны: $PO_1 - PO_3$ – реальные объекты, $ИО_1 - ИО_3$ – искусственные объекты, образующие практическую границу эффективности, $ЦО_1$ и $ЦО_3$ – целевые объекты для развития объектов PO_1 и PO_3 .

Векторы, проводимые от реальных объектов к целевым объектам на практической границе, позволяют определить необходимое изменение параметров объектов водоснабжения, которые обеспечивают повышение эффективности объекта в заданном смысле.

Используем данный подход к каждому ранее сформированному кластеру объектов и построим модель Банкера – Чарнеса – Купера VCC_P -Output, ориентированную на выход с учетом переменного эффекта масштаба [97].

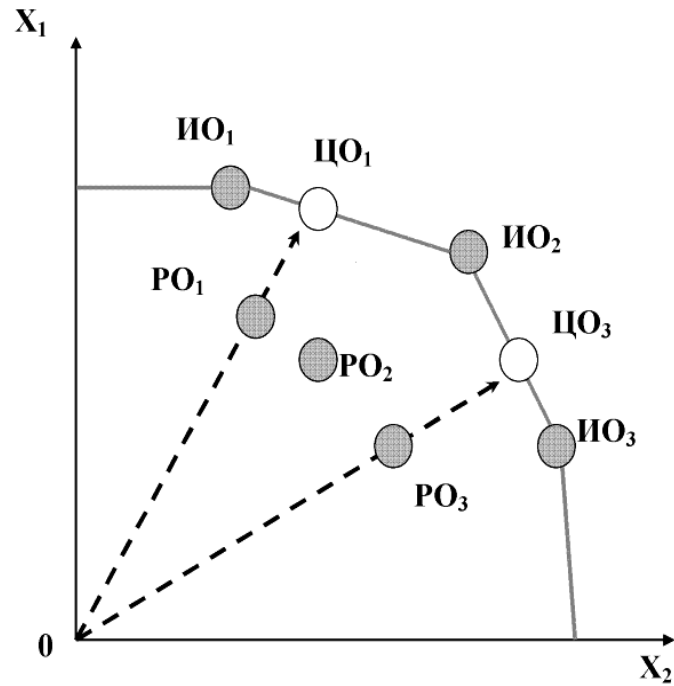


Рисунок 2.8 – Практическая граница и искусственные объекты

Пусть N_{KL} - число объектов в кластере, K - число входов и M - число выходов у объектов. Критерий f_0^3 эффективности искусственного объекта для данного кластера определяется решением следующей задачи дробно-линейного программирования:

$$f_0^3 = \max \left(\frac{\sum_{r=1}^M u_r Y_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^K v_i X_{i0}} \right), \quad (2.9)$$

при ограничениях

$$\frac{\sum_{r=1}^M u_r Y_{rj} + u_0}{\sum_{i=1}^K v_i X_{ij}} \leq 1, \quad j = \overline{1, N_{KL}}, \quad (2.10)$$

$$1 \leq \frac{\sum_{r=1}^M u_r Y_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^K v_i X_{i0}} \leq 1 + \delta, \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned}
L_{i0}^x &\leq X_{i0} \leq V_{i0}^x, & i = \overline{1, K}, \\
L_{r0}^y &\leq Y_{r0} \leq V_{r0}^y, & r = \overline{1, M}, \\
u_r, v_i &\geq 0, \quad \forall i, \forall r, \quad u_0 - \text{свободно} \quad ,
\end{aligned}$$

где (2.10) – ограничения для реальных эффективных объектов, (2.11) - ограничение для нового искусственного объекта, X_{i0} и Y_{r0} - искомые значения входов и выходов искусственного эффективного объекта.

Величина δ , а также верхние V_{i0}^x, V_{r0}^y и нижние L_{i0}^x, L_{r0}^y границы диапазона входов и выходов искусственного объекта задаются ЛПР на основе экспертных оценок.

Для решения задачи дробно-линейного программирования (2.9) – (2.11) согласно [97] вводятся новые переменные $q_i = v_i X_{i0}$, $p_r = u_r Y_{r0}$ и преобразуются ограничения (2.10) и (2.11).

Пример формулировка задачи для n для городов Самарской области, $N_{KL}=8$.

$$f_0^3 = \max \left(\frac{u_1 Y_{10} + u_2 Y_{20} + u_3 Y_{30} + u_0}{v_1 X_{10} + v_2 X_{20}} \right),$$

при ограничениях:

$$\frac{u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} + u_3 Y_{3j} + u_0}{v_1 X_{1j} + v_2 X_{2j}} \leq 1, \quad j = \overline{1, N_{KL}},$$

$$1 \leq \frac{u_1 Y_{10} + u_2 Y_{20} + u_3 Y_{30} + u_0}{v_1 X_{10} + v_2 X_{20}} \leq 1 + \delta,$$

$$L_{10}^x \leq X_{10} \leq V_{10}^x,$$

$$L_{20}^x \leq X_{20} \leq V_{20}^x,$$

$$L_{10}^y \leq Y_{10} \leq V_{10}^y,$$

$$L_{20}^y \leq Y_{20} \leq V_{20}^y,$$

$$L_{30}^y \leq Y_{30} \leq V_{30}^y,$$

$$u_0 - \text{свободно},$$

Сделаем замену переменных:

$$\begin{aligned} p_1 &= u_1 Y_{10}, & p_2 &= u_2 Y_{20}, & p_3 &= u_3 Y_{30}; \\ q_1 &= v_1 X_{10}, & q_2 &= v_2 X_{20} \end{aligned}$$

Получаем новую задачу:

$$f^3 = \max (p_1 + p_2 + p_3 + u_0) \quad (2.12)$$

при ограничениях:

$$q_1 + q_2 = 1;$$

$$u_1 Y_{1j} + u_2 Y_{2j} + u_3 Y_{3j} + u_0 - v_1 X_{1j} - v_2 X_{2j} \leq 0, \quad j = \overline{1, N_{KL}},$$

$$p_1 + p_2 + p_3 + u_0 - q_1 - q_2 \geq 0;$$

$$p_1 + p_2 + p_3 + u_0 - (1 + \delta)q_1 - (1 + \delta)q_2 \leq 0;$$

$$v_i L_{i0}^x \leq q_i \leq v_i V_{i0}^x, \quad i = (1, 2)$$

$$u_r L_{r0}^y \leq p_r \leq u_r V_{r0}^y, \quad r = (1, 2, 3)$$

$$u_r, v_i \geq 0, \quad \forall i, \forall r,$$

$$u_0 - \text{свободно},$$

У этой задачи неизвестными переменными, подлежащими определению, являются:

$$p_1, p_2, p_3, q_1, q_2, u_0, u_1, u_2, u_3, v_1, v_2 \geq 0;$$

Искомые показатели искусственного объекта получаем в виде:

$$X_{i0} = \frac{q'_i}{v'_i}; \quad Y_{r0} = \frac{p'_r}{u'_r}, \quad i = (1, 2); \quad r = (1, 2, 3);$$

Зададим границу эффективности для искусственных объектов: $\delta = 0,25$.

Нижние и верхние границы определим, как:

L_{10}^x и V_{10}^x - минимальная и максимальная численности населения среди объектов, L_{20}^x и V_{20}^x - минимальная и максимальная площади населения среди объектов,

L_{10}^y и V_{10}^y - минимальная производительность и (максимальная +25%) производительность среди объектов,

L_{20}^y и V_{20}^y - минимальный и (максимальный +25%) объем потребления воды среди объектов,

L_{30}^y и V_{30}^y - минимальный и (максимальный +25%) показатель износа сетей среди объектов.

Для определения наличия решения поставленной задачи воспользуемся исследованием дробно-рациональной целевой функции, приведенном в работе [121].

Для использования метода Чарнеса – Купера необходимо, чтобы множество ограничений задачи было ограниченным. В нашей постановке задач (2.7-2.8) и (2.9-2.11) это условие выполняется. Дробно-линейная функция (2.9) не является ни вогнутой, ни выпуклой. Но поверхности уровня этой функции являются гиперплоскостями.

В работе [122] Дорн доказал, что любой локальный минимум задачи дробно-линейного программирования является в то же время глобальным. При этом числитель и знаменатель целевой функции вида (2.9) не должны одновременно обращаться в нуль для любых значений аргументов, принадлежащих множеству, задаваемом ограничениями (2.10 – 2.11). Кроме того, делается предположение о положительности знаменателя дробно-линейной целевой функции.

В постановке задач оценки эффективности объектов (п. 2.4) и построения искусственных объектов (п.2.5) указанные условия выполняются. Следовательно, преобразование Чарнеса-Купера применяется корректно и максимум, полученный симплекс-методом, является глобальным.

В результате решения полученной линейной задачи (2.12) определяются значения X_{i0} и Y_{r0} входов и выходов искусственного эффективного объекта, а также неизвестные весовые коэффициенты u_r и v_i . Теперь можно определить, на какую величину следует изменить показатели j -го реального объекта, чтобы он достиг уровня эффективности искусственного объекта:

$$R_{rj}^y = Y_{r0} - Y_{rj}, \quad r = \overline{1, M},$$

$$R_{ij}^x = X_{i0} - X_{ij}, \quad i = \overline{1, K}.$$

Полученные значения используются для вычисления инвестиций региональной программы, которые надо вложить в j -й объект кластера, чтобы получить требуемые показатели. В нашем случае для объектов программы определяются размеры инвестиций:

- а) $C(R_{1j}^y)$ - в увеличение производительности водозаборов;
- б) $C(R_{2j}^y)$ - в повышение удельного потребления воды;
- в) $C(R_{3j}^y)$ - в увеличение протяженности качественных водопроводных сетей.

В качестве примера приведены расчеты для города Похвистнево, которые сведены в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 – Показатели для г. Похвистнево

Объект кластера	Показатели					
	Реальный объект кластера - г. Похвистнево	Y_{1j}	1824 5	Y_{2j}	6470	Y_{3j}
Искусственный объект кластера	Y_{10}	1824 5	Y_{20}	8015	Y_{30}	0.2 (82%)
Изменение показателей	R_{1j}	0	R_{2j}	1545	R_{3j}	0,164 (14,4%)
Инвестиции $C(R_{1j})$, тыс. рублей	0		0		37,44	
Суммарные инвестиции, тыс. рублей	37,44					

Из таблицы 2.7 следует, что основным фактором, влияющим на эффективность водообеспечения, является изношенность водопроводных сетей. Следовательно, увеличение производительности Y_{1j} водозаборов нецелесообразно, так как затраты на их реконструкцию не покроют потери воды в сетях. Поэтому необходимо провести реконструкцию водопроводных сетей города и затраты порядка 37 млн. рублей обеспечат достижение нормативного водопотребления для жилых нужд и производственных потребностей при прежней производительности водозаборов.

2.6 Оценки эффективности объектов водоснабжения на примере территориальных образований Самарской области

Водохозяйственный комплекс области представляет собой сложную структуру, в которую входят городские округа и муниципальные районы. Водоснабжение районов отличается от организации водного хозяйства в городах как с точки зрения структуры водопроводных сетей, так и по составу источников воды и вспомогательных сооружений. Поэтому принято решение проводить

анализ и классификацию отдельно для двух групп объектов. Первая группа – 10 городов, вторая группа – 27 муниципальных районов Самарской области.

Методология DEA позволяет провести кластеризацию объектов с использованием полученных обобщенных критериев. Рассмотрим районные муниципальные образования Самарской области, так как городских округов немного, и они образуют один кластер.

Алгоритм кластеризации заключается в следующем:

1. Рассчитывается интегральный критерий f^3 для каждого района.
2. Выделяется множество районов, для которых выполняется условие $k \leq f_n^3 \leq 1$, где $n = \overline{1, N}$, k - заданный уровень отсечения объектов (в нашем случае принято $k = 0,8$). Образуется кластер № 1 с объектами, имеющими наивысшую эффективность. Эти объекты удаляются из исходного множества.
3. В оставшемся наборе снова производится расчет критерия f^3 .
4. Выделяется новое множество эффективных объектов по выше приведенному условию. При этом образуется кластер № 2, и его объекты опять удаляются из множества районов.
5. Процедура повторяется до тех пор, пока множество районов не станет пустым.

Множество полученных кластеров содержит районы, сгруппированные по уровню эффективности. Чем больше номер кластера, тем менее эффективные в смысле водообеспечения районы он содержит.

Применение вышеописанной методики к городам области дает два кластера. Кластер 1: города Самара, Жигулевск, Новокуйбышевск, Отрадный, Кинель, Тольятти. Кластер 2: города Октябрьск, Похвистнево, Сызрань, Чапаевск. Это разделение хорошо видно на рисунке 2.9.

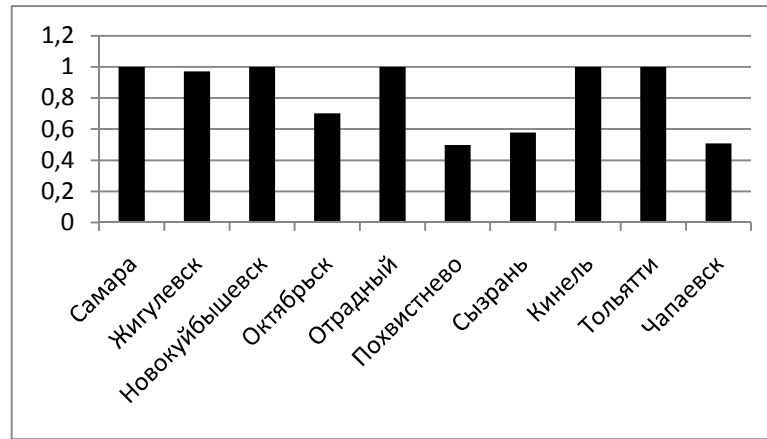


Рисунок 2.9 - Интегральный критерий водообеспечения для городов Самарской области

Выводы

1. Управление таким сложным и разноплановым объектом, как региональный водохозяйственный комплекс, возможно только при использовании на каждом этапе жизненного цикла соответствующей системной модели. С этой целью был разработан комплекс взаимосвязанных системных моделей, являющихся основой для построения алгоритмов и системы принятия решений.

2. В результате системного анализа построены кластеры водозаборов в различных районах региона, что использовано в дальнейшем при проектировании технологических схем промышленного водоснабжения.

3. Была проведена комплексная оценка объектов водоснабжения в регионе Самарской области с применением методологии DEA. Показано, что разработанная методика обеспечивает обоснованную оценку эффективности однородных объектов по набору входных и выходных параметров. Основной научный результат заключается в методике построения искусственных объектов с использованием методологии P-DEA (метод практической границы). Это дает возможность определять пути дальнейшего повышения эффективности для каждого объекта промышленного водоснабжения.

4. Предложен алгоритм кластеризации городов и районов Самарской области по эффективности систем водоснабжения на основе обобщенных критериев.

Глава 3. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений

3.1 Задачи ИСППР ТВ

Современные технологии управления крупными системами предполагают использование систем поддержки принятия решений. Решаемые в диссертации задачи управления комплексом промышленных систем водоснабжения опираются на создание интеллектуальной системы поддержки принятия решений, которая использует комплекс системных моделей, разработанных во второй главе диссертации.

Интеллектуальная система поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения (ИСППР ТВ) предназначена для выполнения следующих задач.

1. Автоматизация процесса управления государственной целевой программой на уровне министерств и департаментов Правительства области.

2. Использование современных методов системного анализа состояния отрасли, оценки и отбора объектов водоснабжения для включения в целевую программу.

3. Использование методов информационных технологий, искусственного интеллекта и баз знаний для формирования альтернативных инвестиционных, проектных и организационных решений для лиц, принимающих решения (ЛПР).

4. Генерация альтернативных вариантов технологических решений по водообеспечению объектов в городах и муниципальных образованиях для оценки инвестиций на предпроектном этапе, выбора оптимальных технических решений, контроля выполнения проектно-изыскательских и строительно-монтажных работ по объектам.

5. Возможность интеграции ИСППР в систему Электронного правительства региона.

3.2 Структура ИСППР ТВ

Обобщенная модель программного обеспечения проектной процедуры в ИСППР имеет множество модулей и списки данных [63] (рисунок. 3.1).

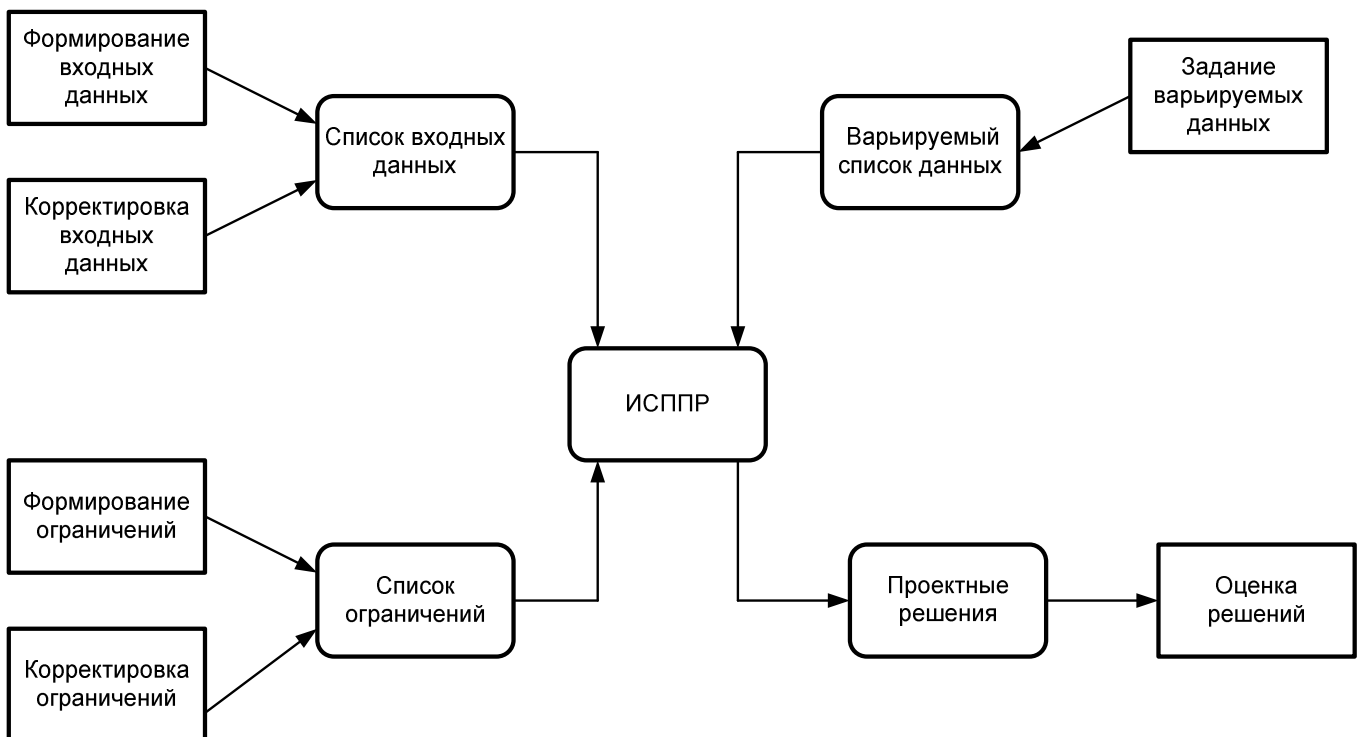


Рисунок 3.1 – Организация работы модулей данных в ИСППР

Модуль формирования входных данных создает список проектных данных и контролирует ввод данных в систему. Структура и формат списка входных данных зависят от качества и полноты содержания анализа воды на природные и антропогенные свойства. Первоначальная (или основная) структура списка данных определяется наличием параметров участвующих в рассмотрении в соответствии СанПиН 2.1.4.1074-01 [98].

Программный модуль корректировки входных данных осуществляет редактирование списка при изменениях измеряемых параметров воды, при

внесении новых требований по качеству воды для технологических процессов, при анализе альтернативных технологических решений, а также при обнаружении некорректного ввода данных.

Программные модули формирования и корректировки ограничений на процесс проектирования реализуют алгоритм анализа решений ИСППР. Система выдает несколько решений, т.е. несколько взаимозаменяемых схем очистки воды, далее выбор происходит в зависимости от ограничений (финансовые, объем переработки и т.д.) Структура и формат ограничений зависят от проектного модуля, но они существенно меньше подвержены изменениям, чем структура и формат исходных данных.

Варьируемый список данных состоит из списка данных по прогнозу качества воды в зависимости от времени.

Получаемые варианты проектных решений обрабатываются программным модулем подготовки данных для оценки решений и передаются модулю визуализации. Анализируя результаты всего программного процесса, пользователь должен иметь возможность просмотра выходных данных.

При разработке ИСППР необходимо формализовать как можно больше параметров и определить связи между ними. Множество таких параметров и связей между ними образуют модель представления знаний о предметной области.

Обобщенная схема ИСППР приведена на рисунке 3.2.

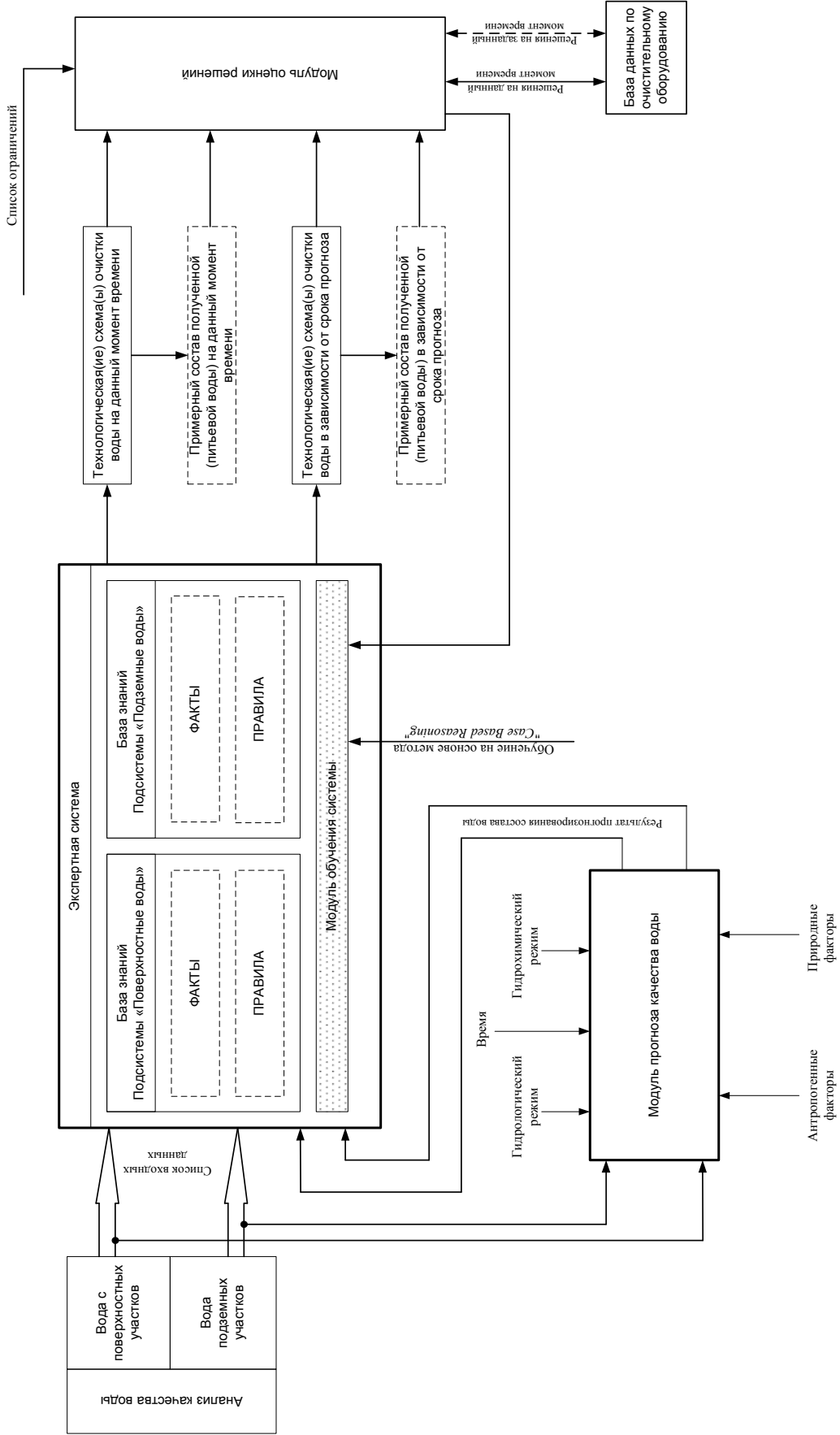


Рисунок 3.2 – Обобщенная схема ИСППР

3.3 Логико-лингвистические модели подсистем ИСППР ТВ

Разрабатываемая система представляет собой класс программного обеспечения, имеющий языковую основу, для построения которых необходимо использовать некоторый инструментарий, формальное описание которого осуществляет совокупность алгебраических систем [99, 100]:

$$T = \langle G, U, \Omega \rangle, \quad (3.1)$$

где G - алгебраическая система фактов базы знаний;

U - алгебраическая система элементов управления фактами;

Ω - алгебраическая система представления графа логического вывода, в которой множество вершин графа соответствует множеству фактов, а множество отношений или дуг графа соответствует множеству элементов управления.

На рисунке 3.3 изображен граф логического вывода, где вершины графа представляют собой факты базы знаний, а дуги соответствуют элементам управления. Для определения того, сработает ли тот или иной оператор перехода, используются операции соответствующие правилам в базе знаний.

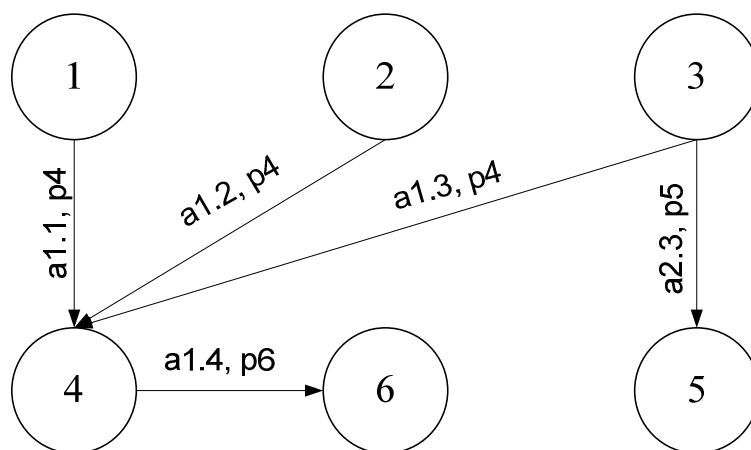


Рисунок 3.3 – Пример графа логического вывода

Не менее важным является выбор необходимых математических систем в модели. Данный набор представляет множество формальных и логико-лингвистических моделей реализующих определенные процессы обработки информации.

3.3.1 Логико-лингвистическая модель фактов базы знаний

Алгебраическая система фактов базы знаний представляет собой следующую систему множеств [100]:

$$G = \langle M_g, O_g, R_g \rangle, \quad (3.2)$$

где $M_g = \{g_1, g_2, \dots, g_i, \dots, g_n\}$ - множество-носитель алгебры фактов базы знаний g_i ;

$O_g = \{\cup\}$ - множество операций над элементами g_i алгебры (\cup - операция объединения);

$R_g = \{\leftrightarrow, \updownarrow, \rightarrow, \Rightarrow, >, <\}$ - множество отношений над элементами алгебры, где

1) \leftrightarrow - отношение эквивалентности по спискам информационных элементов;

3) \updownarrow - отношение неэквивалентности по спискам информационных элементов;

4) \rightarrow - отношение прямого вхождения;

5) \Rightarrow - отношение косвенного вхождения;

Множество-носитель M_g алгебры составляют все возможные факты базы знаний g_i . Различают предшествующее, последующее и текущее множество фактов.

Текущее множество фактов (f_C) - набор фактов, находящихся в базе данных в настоящий момент времени.

Предшествующее множество фактов (f_P) - набор фактов, находящихся в базе данных до текущего множества фактов, то есть такой набор фактов, который, после применения к нему правил, привел к текущему множеству фактов.

Последующее множество фактов (f_N) - набор фактов, которые могут находиться в базе данных после применения правил к текущему множеству фактов.

Для данных множеств справедливо следующее соотношение: $f_P \subseteq f_C \subseteq f_N$.

Факт составляет базовое множество M_g^0 . Факт содержит следующие составляющие: идентификатор, описание факта, действие, список информационных элементов.

Факт имеет список информационных элементов. Каждый из информационных элементов, находящихся в факте, соответствует идентификатору следующего факта (F_{next}), который может быть установлен, как следствие из данного факта. Каждый информационный элемент имеет имя, идентификатор нового факта, а также список идентификаторов правил. Список идентификаторов правил показывает, в какие правила входит данный факт, в консеквентах которых находится факт (F_{next}) [100, 101].

Обозначим $I(g)$ - информационный элемент факта g , соответствующий идентификатору факта f .

Степень выхода факта $g(\psi(g))$ вычисляется, как объем списка информационных элементов данного факта.

Объем правил i - го информационного элемента факта $g(\Theta(I_i(g)))$ вычисляется, как объем списка идентификаторов правил, соответствующего i - му информационному элементу факта g . Здесь $i = 1, \dots, n$, где $n = \psi(g)$, а i - информационный элемент.

Мощность правила, соответствующего j - му идентификатору правила i - го информационного элемента факта $g(\eta(R_j(I_i(g))))$ вычисляется как количество фактов, стоящих в антецеденте правила, соответствующего j - му идентификатору правила из списка идентификаторов правил, находящемся в i - ом информационном элементе факта g . Здесь $j = 1, \dots, m$, где $m = \Theta(I_i(g))$, $i = 1, \dots, n$, где $n = \psi(g)$. Операнд $\varphi(R_j(I_i(g)))$ показывает идентификаторы фактов, стоящих в антецеденте правила, соответствующего j - му идентификатору правила из списка идентификаторов правил, находящемся в i - ом информационном элементе факта g .

Множество операций Og содержит одну единственную операцию - операцию объединения фактов. Операция является бинарной и применима только к множеству Mg . В результате выполнения операции объединения получается новый факт

$$g_1 + g_2 = g_3 \quad (3.3)$$

где g_1, g_2, g_3 - факты. Операция замкнута, обладает свойством идемпотентности,

т.е. в результате объединения факта g с самим собой получается факт g . Свойства коммутативности и ассоциативности для операции не выполняются, т.к. важен порядок рассуждений механизма логического вывода. Операция объединения фактов определена не на всем множестве фактов. Рассмотрим примеры, когда выполняется данная операция.

Пример 1:

а) факты g_1 и g_2 связаны следующим отношением $g_1 \rightarrow g_2$ при соблюдении условий: степень выхода факта и мощность правила равны 1 (рисунок 3.4);

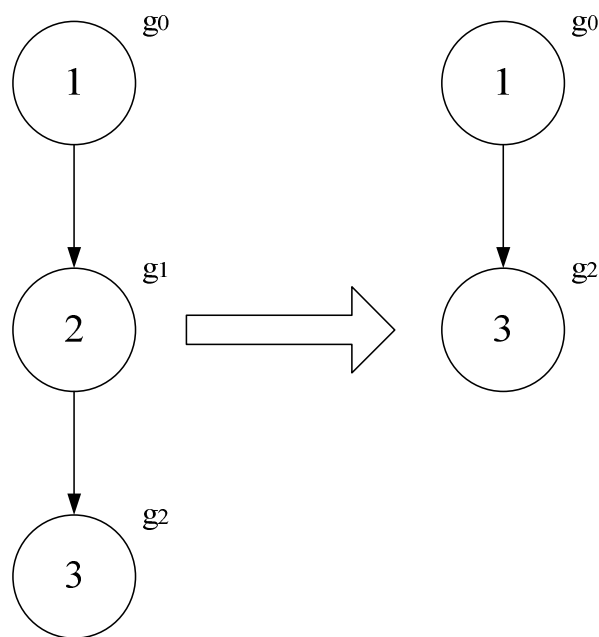


Рисунок 3.4 – Операция объединения фактов, на графах для первого примера.

б) факт g_1 должен иметь пустое составляющее действие.

Пример 2:

а) факты g_1 и g_2 не должны быть связаны ни отношением $g_1 \Rightarrow g_2$, ни отношением $g_2 \Rightarrow g_1$;

б) должен существовать единственный факт g_s , связанный с g_1 и g_2 следующими отношениями: $g_s \rightarrow g_1$ и $g_s \rightarrow g_2$, никакие другие факты не должны быть связаны с g_1 и g_2 отношением прямого вхождения (рисунок 3.5); в другом случае, может существовать множество фактов $M'_g \subseteq M_g - \{g_1, g_2\}$, причем $\forall g' \in M'_g$

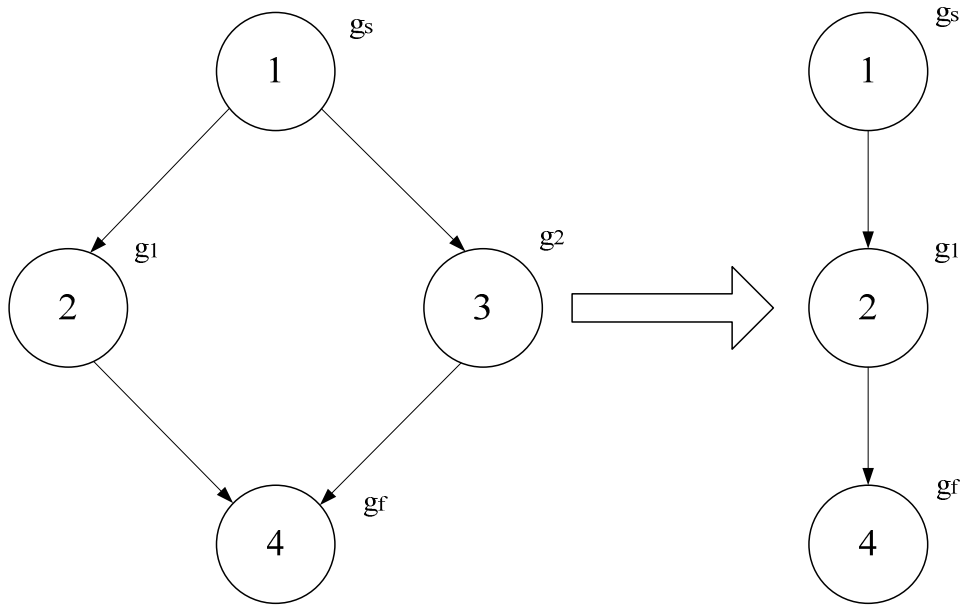


Рисунок 3.5 – Операция объединения фактов, на графах для второго примера.

в) должны выполняться следующие отношения: $g' \rightarrow g_l$, $g' \rightarrow g_2$, $\Theta(I^{g_l}(g')) = 1$, $\eta(R_j(I^{g_l}(g'))) = 1$, $\Theta(I^{g_2}(g')) = 1$ и $\eta(R_j(I^{g_2}(g'))) = 1$, все остальные элементы множества $M_g - \{g_l, g_2\} - M'_g$ не должны быть связаны с g_l и g_2 отношением прямого вхождения;

в другом случае, может существовать множество фактов $M'_g \subseteq M_g - \{g_l, g_2\}$, причем $\forall g' \in M'_g$ должны выполняться следующие отношения: $g' \rightarrow g_l$, $g' \rightarrow g_2$, $\Theta(I^{g_l}(g')) = \Theta(I^{g_2}(g')) = C$, где C - константа, $\eta(R_j(I^{g_l}(g'))) = \eta(R_j(I^{g_2}(g'))) = |M'_g|$, $j = 1, \dots, m$, где $m = C$, $\varphi(R_j(I^{g_l}(g'))) = \varphi(R_j(I^{g_2}(g'))) = M'_g$, $j = 1, \dots, m$, где $m = C$ и $\forall g' \in M'_g : (R_j(I^{g_l}(g')))$. Антецедент = $(R_j(I^{g_2}(g')))$. Антецедент, $j = 1, \dots, m$, где $m = C$, $(R_j(I^{g_l}(g')))$. Антецедент - антецедент правила, соответствующего j - му идентификатору правила, из списка идентификаторов правил информационного элемента факта g , причем информационный элемент соответствует факту f , все остальные элементы множества $M_g - \{g_l, g_2\} - M'_g$ не должны быть связаны с g_l и g_2 отношением прямого вхождения;

г) должен существовать единственный факт g_f такой, что $g_l \rightarrow g_f$, $g_2 \rightarrow g_f$ и $\psi(g_l) = \psi(g_2) = 1$, факты g_l и g_2 не должны быть связаны отношением прямого

вхождения ни с каким другим фактом (рисунок 3.4); в другом случае, может существовать множество фактов $M_g'' \subseteq M_g - \{g_1, g_2, g_k\}$, причем $\forall g' \in M_g''$ должны выполняться следующие отношения: $g_1 \rightarrow g'$, $g_2 \rightarrow g'$, $\Theta(I^{g'}(g_1)) = 1$, $\eta(R_j(I^{g'}(g_1))) = 1$, $\Theta(I^{g'}(g_2)) = 1$, и $\eta(R_j(I^{g'}(g_2))) = 1$, факты g_1 и g_2 не должны быть связаны отношением прямого вхождения ни с каким другим фактом, не принадлежащим M_g'' ; в другом случае, может существовать множество фактов $M_g'' \subseteq M_g - \{g_1, g_2, g_k\}$, причем $\forall g' \in M_g''$ должны выполняться следующие отношения:

$g_1 \rightarrow g'$, $g_2 \rightarrow g'$, $\varphi(R_{j_1}(I^{g'}(g_1))) = \{g_1, g_2\}$, $j_1 = 1, \dots, m_1$, $m_1 = \Theta(I^{g'}(g_1))$, $\varphi(R_{j_2}(I^{g'}(g_2))) = \{g_1, g_2\}$, $j_2 = 1, \dots, m_2$, $m_2 = \Theta(I^{g'}(g_2))$, то есть факты g_1 и g_2 , в данном случае, эквивалентны по спискам информационных элементов ($g_1 \leftrightarrow g_2$), факты g_1 и g_2 не должны быть связаны отношением прямого вхождения ни с каким другим фактом, не принадлежащим M_g'' ;

ж) факты g_1 и g_2 должны иметь пустое составляющее действие.

В множество отношений Rg входят следующие отношения:

1. Отношение эквивалентности. Эквивалентность по спискам информационных элементов $\{\leftrightarrow\}$ (если у фактов g_1 и g_2 списки информационных элементов совпадают, то они эквивалентны по спискам информационных элементов $g_1 \leftrightarrow g_2$), отношение рефлексивно, симметрично и транзитивно.

2. Отношение неэквивалентности. Неэквивалентность по спискам информационных элементов $\{\uparrow\downarrow\}$ (если у фактов g_1 и g_2 списки информационных элементов различны, то они неэквивалентны по спискам информационных элементов $g_1 \uparrow\downarrow g_2$), отношение антирефлексивно, симметрично и нетранзитивно;

3. Отношение прямого вхождения $\{\rightarrow\}$ - если факт g_1 содержит информационный элемент, соответствующий идентификатору факта g_2 , а факт g_2 не содержит информационного элемента, соответствующего идентификатору факта g_1 , то такое отношение назовем отношением прямого вхождения $g_1 \rightarrow g_2$. Отношение рефлексивно, антисимметрично, нетранзитивно.

4. Отношение косвенного вхождения $\{=>\}$ - рассмотрим множество-носитель M_g фактов, кроме фактов g_1 и g_2 , то есть множество $M_g = \{g_3, \dots, g_b, \dots, g_n\}$; если

для какого-нибудь подмножества фактов из множества M'_g будет выполняться следующее отношение: $g_1 \rightarrow g_k \rightarrow \dots \rightarrow g_l \rightarrow g_2$ и не будет выполняться следующего отношения: $g_2 \rightarrow g_v \rightarrow \dots \rightarrow g_w \rightarrow g_1$, то такое отношение назовем отношением косвенного вхождения $g_1 \Rightarrow g_2$. Отношение рефлексивно, антисимметрично, транзитивно.

3.3.2 Логико-лингвистическая модель элементов управления фактами

Алгебраическая система элементов управления фактами состоит из системы множеств [100]:

$$U = \langle M_u, O_u, R_u \rangle, \quad (3.4)$$

где $M_u = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n\}$ - множество элементов управления u_i фактами;

$O_u = \{o_1, o_2, \dots, o_i, \dots, o_k\}$ - множество операций o_i , над элементами управления фактами;

$R_u = \{r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_t\}$ - множество отношений r_i над элементами управления фактами.

Во всех элементах управления, относящихся к данному подмножеству, необходимым является выполнение следующего условия: один из информационных элементов предшествующего факта должен содержать идентификатор последующего факта.

Множество элементов управления фактами M_u является производным от элементов алгебры условий определения переходов A и алгебры операторов переходов P .

Условие определения переходов представляет собой вектор, состоящий из n логических условий

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n), \quad (3.5)$$

где n - количество логических условий.

Каждое логическое условие α_i может принимать значения 0 или 1. Каждое логическое условие α_i представляет собой логическое выражение, состоящее из m простейших логических условий $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}$, где i - номер логического условия. Простейшие логические условия отражают правила базы знаний.

Над простейшими логическими условиями $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}$ вводятся обобщенные булевы операции дизъюнкции, конъюнкции и следования, согласно операциям над флагами истинности.

Операторами переходов называется множество переходов к следующему факту, то есть добавление новых фактов в базу данных. Базовое множество P_0 алгебры операторов переходов состоит из операторов перехода к какому-либо факту с идентификатором *ident*.

$$p(\text{ident}). \quad (3.6)$$

Производное множество P_p образуется из элементов базового множества P_0 с использованием операций умножения (или композиции) и α -дизъюнкции.

Операция композиции $p_1 \times p_2$ (или $p_1 p_2$) осуществляет последовательное применение операторов p_1 и p_2 .

Операция α -дизъюнкции операторов p_1, \dots, p_n

$$(\alpha; p_1 \cup \dots \cup p_n) \quad (3.7)$$

представляет собой новый оператор переходов p . Для произвольного факта $g \in M_g$ последовательно выполняются равенства $p(g) = p_1(g)$, если условие α_1 истинно, $p(g) = p_2(g)$, если условие α_2 истинно, ..., $p(g) = p_n(g)$, если условие α_n истинно.

Рассмотрим процесс логического вывода с использованием α -дизъюнкции. Первоначально весь процесс логического вывода задается в виде графа.

Каждой i -ой вершине графа соответствует i -ый факт и α_i , условие определения переходов

$$\alpha_i = (\alpha_i^1, \alpha_i^2, \dots, \alpha_i^j, \dots, \alpha_i^n), \quad (3.8)$$

где n - количество ветвей, выходящих из i -ой вершины графа, j -порядковый номер ветви, выходящей из i -ой вершины графа. Каждой j -ой ветви соответствует α_i^j условие. Каждому j -ому значению условия α_i соответствует ij -ое состояние. Для того чтобы перейти в ij -ое состояние выполняется оператор p_{ij} .

Например, задан i -ый факт и соответствующий ему вектор переходов $\alpha_i = (\alpha_i^1, \alpha_i^2)$ (рисунок 3.6). Возможные наборы значений: $\alpha_i = (0, 0)$ - не приводит

к выполнению операторов переходов, $\alpha_i = (1, 0)$ - приводит к выполнению оператора перехода p_{i1} (т.е. к переходу в состояние i_1), $\alpha_i = (0, 1)$ - приводит к выполнению оператора перехода p_{i2} (т.е. к переходу в состояние i_2), $\alpha_i = (1, 1)$ - приводит к последовательному выполнению операторов перехода p_{i1} и p_{i2} (т.е. к переходу в состояния i_1 и i_2). Переход из i -ой вершины описывается следующим образом

$$(\alpha; p_{i1} \cup p_{i2} \cup p_{i1} p_{i2}). \quad (3.9)$$

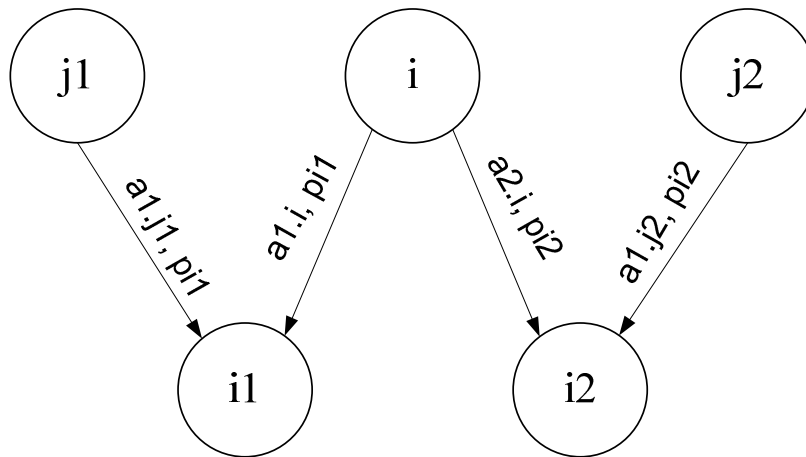


Рисунок 3.6 – Подграф логического вывода

Таким образом, переход из любой i -ой вершины, имеющей n ветвей, выходящих из этой вершины, описывается следующим образом

$$(\alpha; p_{i1} \cup \dots \cup p_{in} \cup p_{i1} p_{i2} \cup \dots \cup p_{ij} p_{ik} \cup \dots \cup p_{i(n-1)} p_{in} \cup \dots \cup p_{i1} \dots p_{in}), \quad (3.10)$$

где количество выражений, участвующих в операции дизъюнкции $O = C_n^1 + C_n^2 + \dots + C_n^n$. Какие операторы переходов должны выполняться зависит от условия определения переходов для данной вершины.

3.4 Формирование и оптимизация графа логического вывода

Разрабатываемая система генерации технологических схем водоснабжения базируется на продукционной модели представления знаний. Продукционная модель определяет множество правил и фактов. Будучи подставлены в часть "ЕСЛИ" правил экспертной системы, они продуцируют новые факты [102].

В ИСППР ТВ граф логического вывода определяет процесс определения технологических схем водоочистки и водоподготовки. Вершины графа - это

факты, относящиеся к базам знаний об источниках поверхностных или подземных вод. Дуги определяют правила базы знаний. Правило "ЕСЛИ А, ТО В" отражается в графе дугой, ведущей из вершины А в вершину В. Каждой дуге соответствует множество идентификаторов правил, в части "ЕСЛИ" которых находится факт из которого выходит дуга, а в части "ТО" - факт в который эта дуга входит.

В общем случае из вершины выходит множество входящих и выходящих дуг (рисунок 3.7). Процесс логического вывода происходит путем продвижения от вершины к вершине. Процесс начинается после установления фактов и проходит по дугам, которые ведут из установленных вершин-фактов. При этом устанавливается, какие идентификаторы правил, связаны с данными дугами. Если результат выполнения операций имеет логическое значение «истинно», то факт, стоящий в части "ТО" правила, считается установленным и добавляется в базу данных. Если правило, соответствующее идентификатору правила дуги, не содержит в части "ЕСЛИ" другие факты, то факт, стоящий в части "ТО" этого правила, считается установленным.

Полученный граф логического вывода представляет собой ориентированный граф [103].

При работе механизма логического вывода интеллектуальной системы поддержки принятия решений может быть достигнута одна или несколько целей или не достигнуто ни одной. Если хотя бы одно правило базы знаний сработало (состоялся хотя бы один переход в графе), то механизм логического вывода не прекращается. В противном случае механизм рассуждений прекращает свою работу и считается достигнутой целевая вершина поиска. Если вершина А уже размечена, как установленная, и вершина В, в которую входит дуга из А, также размечена, как установленная, то правило "ЕСЛИ А, ТО В" выполнилось

Для предотвращения заикливания используется алгоритм: если рассматривается вершина А, размеченная, как установленная, то прежде, чем выполнить правило, в антецеденте которого находится вершина А, анализируются дуги, выходящие из вершины А, и если вершина В, в которую входит данная дуга,

является также размеченной, как установленная, то правила, соответствующие данной дуге и приводящие к установлению факта В, не считаются выполненными.

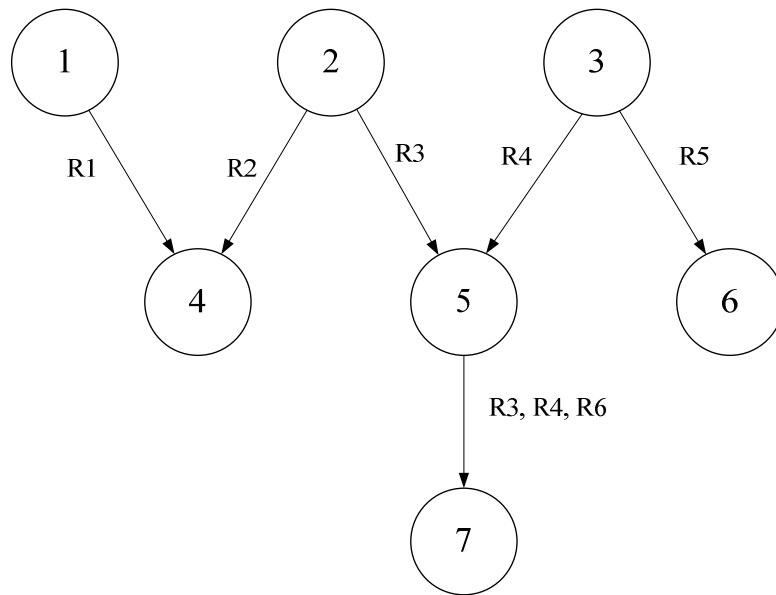


Рисунок 3.7 – Пример графа логического вывода

Оптимизация полного графа логического вывода позволяет сократить путь рассуждений, снизить затраты памяти, упростить изменения в логическом выводе. Для этого разработаны следующие способы оптимизации графа логического вывода.

1. Объединение вершин графа логического вывода.

Операция является бинарной. В результате выполнения операции объединения два объединяемых элемента графа логического вывода преобразуются в один

$$g_1 \cup g_2 \cup \dots \cup g_n = g \quad (3.11)$$

где g_1, \dots, g_n - объединяемые вершины;

g - полученная при объединении вершина.

Возможны два вида объединений:

а) Объединение последовательных вершин графа логического вывода.

Вершины g_{i-1}, g_i, g_{i+1} со степенью выхода $s_{out}(g_i) = 1$ и переходами $q_{i-1} = (g_{i-1}, g_{in}), g_i$

$= (g_i, g_{i+1})$ называются последовательными вершинами (рисунок 3.8), т.е. g_{i-1} и g_i соединены операцией последовательной композиции $q_i \times q_{i+1} = q_{i+1}$.

Вершина g_{i-1} может быть не только одной вершиной, а множеством вершин, объединенных переходами с одинаковыми идентификаторами правил и даже имеющими разные идентификаторы. По сути, вершина g_{i-1} обозначает множество вершин, входящих в вершину g_i .

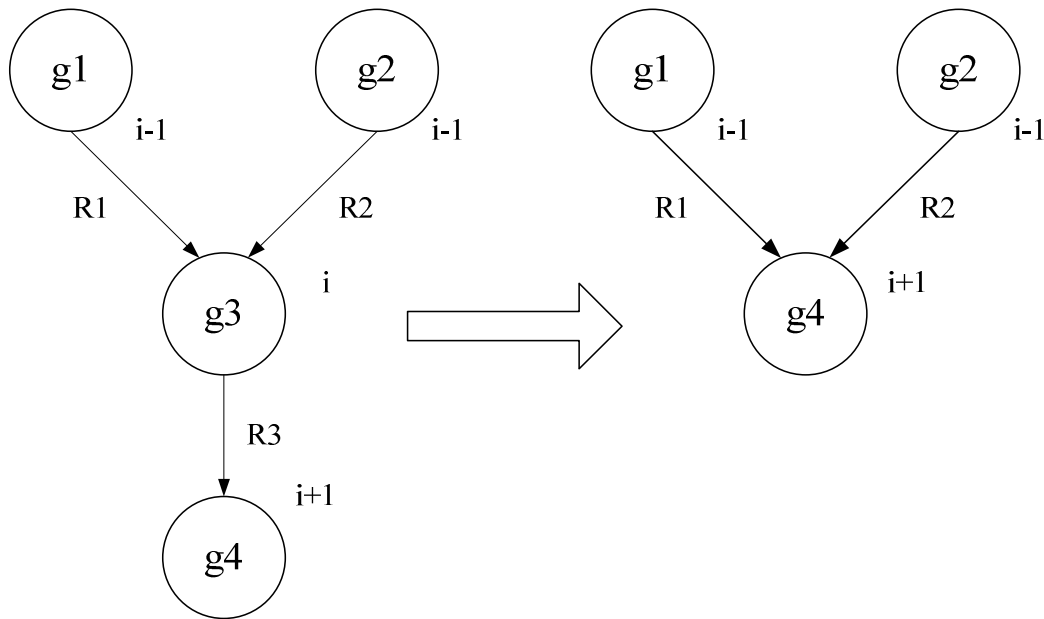


Рисунок 3.8 - Пример объединения вершин графа логического вывода

б) Объединение параллельных элементов графа логического вывода. Пусть даны вершины g_{i1}, \dots, g_{in} . Если эти вершины являются смежными, по отношению к одной вершине, или смежными, по отношению ко множеству вершин, или если существует множество вершин $M'_w \subseteq M_w - \{g_{i1}, \dots, g_{in}\}$, причем $\forall g' \in M'_w$ дуги, входящие в любую из вершин g_{i1}, \dots, g_{in} эквивалентными по идентификаторам правил, а дуги, выходящие из какой-либо вершины $g' \in M'_w$ и входящие в вершины g_{i1}, \dots, g_{in} эквивалентными по антецедентам, то вершины g_{i1}, \dots, g_{in} называются параллельными (рисунок 3.9) при соблюдении следующих условий: $st_{out}(g_{i1}) = st_{out}(g_{i2}) = \dots = st_{out}(g_{in}) = 1$ и вершины g_{i1}, \dots, g_{in} связаны с одной и той же вершиной g^0 отношением прямого вхождения; в другом случае, должно существовать множество вершин $M'_w \subseteq M_w - \{g_{i1}, \dots, g_{in}\}$, причем вершины из данного множества должны быть смежными вершинами, по отношению ко множеству вершин

$\{g_{i1}, \dots, g_{in}\}$; в другом случае, должно существовать множество вершин $M'_w \subseteq M_w - \{g_{i1}, \dots, g_{in}\}$ в которые входят дуги только из вершин g_{i1}, \dots, g_{in} , причем вершины g_{i1}, \dots, g_{in} должны быть эквивалентны по спискам информационных элементов.

2. Преобразование параллельных дуг.

Преобразование параллельных дуг сводится к объединению $\{\cup\}$ вершин g_{i1}, \dots, g_{in} в вершину g_{in} (рисунок 3.10).

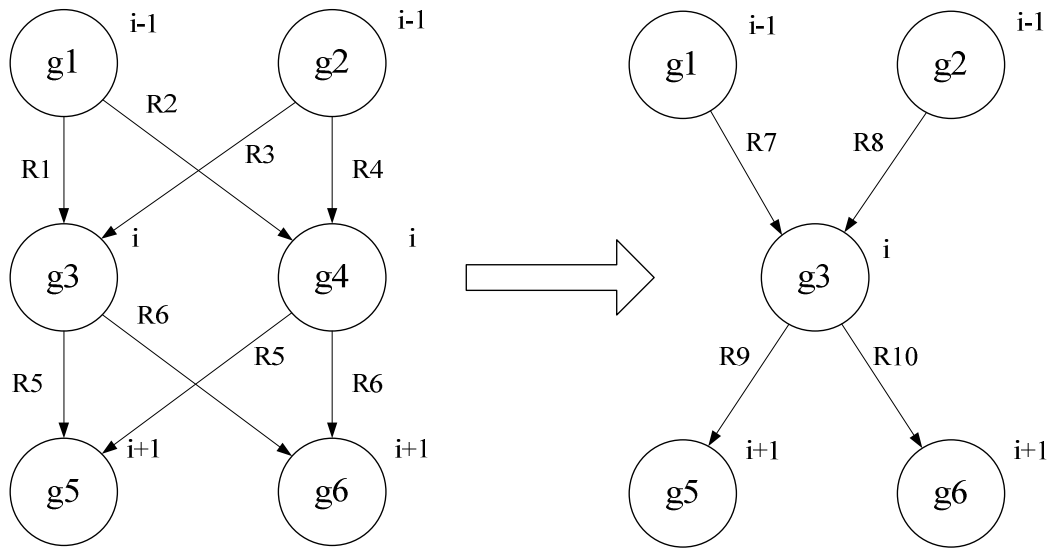


Рисунок 3.9 - Пример объединения вершин графа логического вывода

Так как вершины g_{i1} и g_{i2} являются тривиальными и в них не входят дуги из каких-либо других вершин, кроме g_{i-1} , а также из них не выходят дуги в какие-либо другие вершины, кроме g_{i+1} , то вершина g_{i1} объединяется с вершиной g_{i2} .

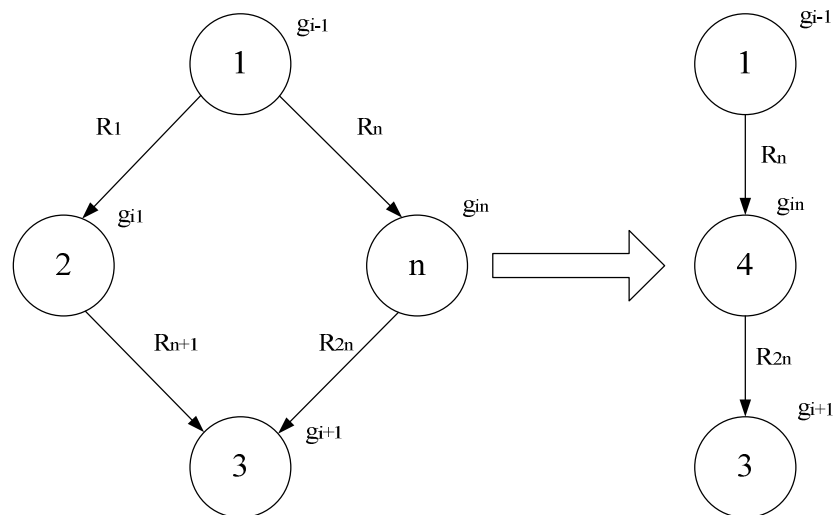


Рисунок 3.10 - Пример преобразования дуг графа логического вывода

3.5 Разработка экспертной системы ИСППР ТВ

Экспертные системы (ЭС) используют профессиональные знания квалифицированных экспертов и с их помощью решаются проектные задачи в такой слабоструктурированной области, как региональное водоснабжение [105].

Основу экспертной системы ИСППР составляет база знаний (БЗ). Она содержит и накапливает факты по состоянию систем промышленного и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Отражает примеры технологических решений, заключений экспертов водохозяйственного кластера по проектам, регистрирует процесс выполнения региональной программы водоснабжения. В базу знаний вносятся сведения, о закономерностях гидрогеологической обстановки, гидрометеорологических данных, воздействие техногенных и антропогенных факторов на поверхностные и подземные источники. От качества представления данных и знаний зависит эффективность принимаемых экспертной системой технологических или управленческих решений.

Разработка экспертной системы для ИСППР ТВ состоит из следующих этапов.

1. Структуризация существующих данных и знаний об объектах водоснабжения, производственных технологических процессах, гидрогеологической обстановки в изучаемом регионе.
2. Выбор математического аппарата и модели знаний.

3. Разработка эффективных средства анализа данных для выявления закономерностей, построения решающих правил и распознавания предъявляемых объектов, выработки и обоснования решений.
4. Разработка, наполнение, управление и сопровождение базы знаний.
5. Решение проектных задач по генерации альтернативных технологических решений для систем промышленного водоснабжения, поддержки принятия управленческих решений по региональной программе водоснабжения и водоотведения.
6. Корректировка и модификация базы знаний в процессе эксплуатации.

3.6 Разработка базы знаний ИСППР ТВ

Разработка экспертной системы интеллектуальной системы поддержки принятия решений для технологических схем очистки природных вод включает в себя следующие основные этапы и подэтапы:

1. Формирование базы знаний «Поверхностные воды».

1.1 Создание сценария процесса логического вывода технологических схем очистки воды, получаемой из поверхностных источников, и разработка соответствующей базы фактов на этапе проектирования. Результаты приведены в приложении А в таблице А.1.

1.2 Заполнение базы правил в соответствие с синтаксисом правил продукционной модели. Результаты приведены в приложении А в таблице А.3.

1.3 Формирование графа логического вывода технологических схем систем поверхностного водоснабжения.

1.4 Оптимизация графа логического вывода в соответствии с пунктом 3.4 главы 3.

1.5 Построение подсистемы объяснений экспертной системы с использованием оптимизированной базы знаний.

2. Формирование базы знаний «Подземные воды».

2.1 Создание сценария процесса логического вывода технологических схем очистки воды, получаемой из подземных источников, и разработка соответствующей базы фактов на этапе проектирования. Результаты приведены в приложении А в таблице А.2.

2.2 Заполнение базы правил в соответствие с синтаксисом правил продукционной модели. Результаты приведены в приложении А в таблице А.4.

2.3 Формирование графа логического вывода технологических схем систем подземного водоснабжения.

2.4 Оптимизация графа логического вывода в соответствии с пунктом 3.4 главы 3.

2.5 Построение подсистемы объяснений экспертной системы с использованием оптимизированной базы знаний.

В таблицах А.5 и А.6 представлены программы экспертной системы для формального вывода технологических схем систем водоснабжения, отдельно по поверхностным и подземным источникам воды.

3.7 Построение альтернативных вариантов технической реализации системы водоснабжения с помощью ИСППР ТВ

Для технико-экономического обоснования проектов промышленного водоснабжения и выбора на конкурсной основе оптимальных технологий водоподготовки, требуется объективная оценка возможностей технологических схем очистки воды в зависимости от качества исходной воды (водоисточник) и физико-химических параметров, в том числе и антропогенного происхождения.

Основой оценки возможности технологических схем будут составлять данные из классификатора технологий, разработанного в ГНЦ НИИ ВОДГЕО [109]. Здесь предложено разбиение типов поверхностных водоисточников на семь классов и восемь подклассов и подземных водоисточников на пять классов по основным фоновым загрязнениям восемь подклассов по антропогенным

загрязнениям. Не малую роль играет и то, что классификация водных источников Самарской области была проведена по той же методике [110].

Представленные в работе [109] способы и методы очистки воды, позволяют скомпоновать общую технологическую схему в каждом конкретном случае в зависимости от качества исходной воды.

Рекомендуемые технологические схемы водоочистки поверхностных вод в зависимости от типа класса водоисточника, группы примесей и временного фактора, а также рекомендуемые технологические схемы водоочистки подземных вод в зависимости от наличия природных примесей, антропогенных загрязнений и растворенных газов также приведены в работе [109].

Особенностью ИСППР ТВ является получение в общем случае нескольких альтернативных вариантов реализации объектов программы. Это даёт возможность оценить предложенные варианты на соответствие существующим ограничениям, и принять решение о предпочтительности той или иной технологической схемы.

3.8 Задача оптимизации технологических параметров системы водоснабжения промышленного производства

В этом пункте описывается постановка задачи оптимального выбора технологического оборудования системы водоснабжения, которая основывается на множестве альтернативных технологических схем, вырабатываемых ИСППР ТВ [16].

Для системы промышленного водоснабжения с помощью ИСППР ТВ генерируется J вариантов технологических решений. Технологическая схема $S_j = (Q_j, V_j)$, представляет собой совокупность Q_j аппаратов выбранных типов и вектор V_j показателей качества воды для технологических процессов промышленного производства, который обеспечивается данным вариантом S_j .

При этом набор используемых типов аппаратов есть $Q_j = \{q_m\}$, $m \in I_j^{TA} \subseteq I_{TA}$, где I_{TA} - индексное множество номеров всех типов

аппаратов, рассматриваемых при проектировании данной системы промышленного водоснабжения, $I_j^{\text{ТА}}$ – индексное подмножество, содержащее номера выбранных типов аппаратов для технологической схемы S_j .

Тип аппарата q_r включает набор из M_r конкретных моделей с векторами параметров $(d_{r,M_r,1}, \dots, d_{r,M_r,K_{r,M_r}})$, где K_{r,M_r} – число параметров модели аппарата. Связь переменных и индексов для технологических схем, аппаратов и их параметров определяется композицией двудольных графов (рисунок 3.11).

Целевая функция – стоимость проектирования, строительства и эксплуатации системы промышленного водоснабжения:

$$C_P = \min \left\{ \sum_{m \in I_j^{\text{ТА}}} \sum_n (C_{jmn}^D + C_{jmn}^W + C_{jmn}^Э) x_{jmn} + C_j^{\Pi} + C_j^H \right\}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (3.12)$$

где булева переменная оптимизации:

$$x_{jmn} = \begin{cases} 1 - \text{если в } j\text{-й технологической схеме для} \\ \text{ } m\text{-го аппарата выбрана } n\text{-я модель аппарата} \\ 0 - \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (3.13)$$

C_{jmn}^D – стоимость n -й модели оборудования m -го типа в j -м варианте, C_{jmn}^W – удельная стоимость потребляемой оборудованием электроэнергии, $C_{jmn}^Э$ – удельные эксплуатационные расходы на тип оборудования, C_j^{Π} – стоимость технологического подключения электрической мощности для технологической схемы S_j , C_j^H – стоимость отведения земельных участков или производственной площади под систему водоснабжения в j -м варианте.

Ограничения для задачи имеют вид:

$$1. \quad \sum_{n=1}^{M_r} x_{jmn} = 1, \quad m \in I_j^{\text{ТА}}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (3.14)$$

– условие единственности выбора моделей аппаратов для каждого типа оборудования.

$$2. \quad V_j \leq V_j^{\text{доп}}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (3.15)$$

– параметры воды на выходе системы S_j должны отвечать нормам СанПиН, либо требованиям технологического процесса выпуска продукции.

$$3. d_{mnk} x_{jmn} \leq d_{mnk}^{\text{доп}}, \quad k = \overline{1, K_{mn}}, \quad \forall m, n, \quad (3.16)$$

– соответствие параметров оборудования заданным границам, K_{mn} – число параметров n -й модели оборудования m -го типа аппарата j -го варианта системы водоснабжения.

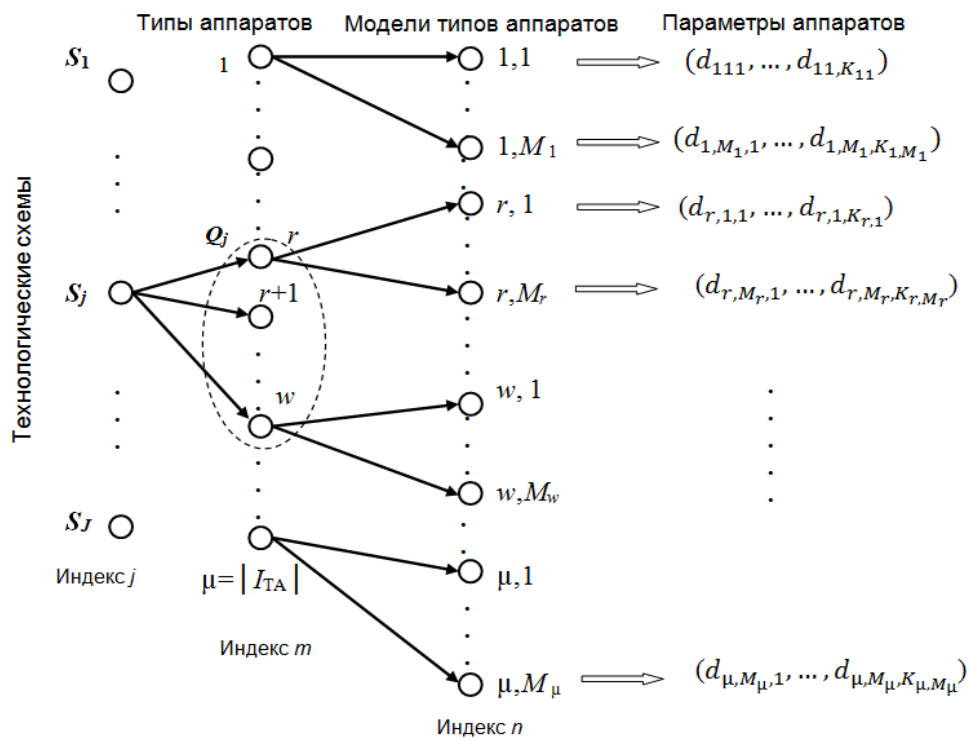


Рисунок 3.11 - Графовая модель структуры данных задачи оптимизации

Задача (3.12) – (3.13) с ограничениями (3.14) – (3.16) относится к классу задач дискретного программирования, и для небольшой размерности решение может быть найдено полным перебором. Для реальной целевой региональной программы характерны значения $J = 3 - 10$, $|I_{TA}| = 10 - 50$, $K_{mn} = 5 - 10$. В этом случае используется метод ветвей и границ [118].

3.9 Алгоритм принятия решений при управлении в водохозяйственном комплексе

Региональная программа развития водохозяйственного комплекса Самарской области состоит из множества P^* утвержденных проектов, выполнение которых производится в несколько этапов:

- предварительный анализ, расчет инвестиций и отбор для включения в программу;
- проектно-изыскательские работы (ПИР) и строительно-монтажные работы (СМР);
- эксплуатация построенных систем водоснабжения.

Взаимодействие разработанных системных моделей в процессе реализации целевой программы для регионального водохозяйственного комплекса осуществляется в соответствии с общим алгоритмом принятия решений, представленным на рисунке 3.12.

Для анализа и отбора потенциальных объектов проводится комплексная оценка эффективности по методу DEA. В результате определяется множество P_1 - предварительный перечень проектов, сформированный по заявкам промышленных предприятий, муниципальных образований и городских округов и по заданным критериям согласованный с экспертной группой.

Проблема многих региональных программ в том, что после этого этапа сразу выделяется определенный объем инвестиций на ПИР и СМР и начинается реализация проекта. Как правило, технологические схемы формируются в средней стадии выполнения ПИР, что приводит к необходимости пересматривать не только объем инвестиций, но и техническое задание, а также выделение ресурсов: электрической мощности, отвод земли под строительство, обеспечение санитарно-эпидемиологических норм.

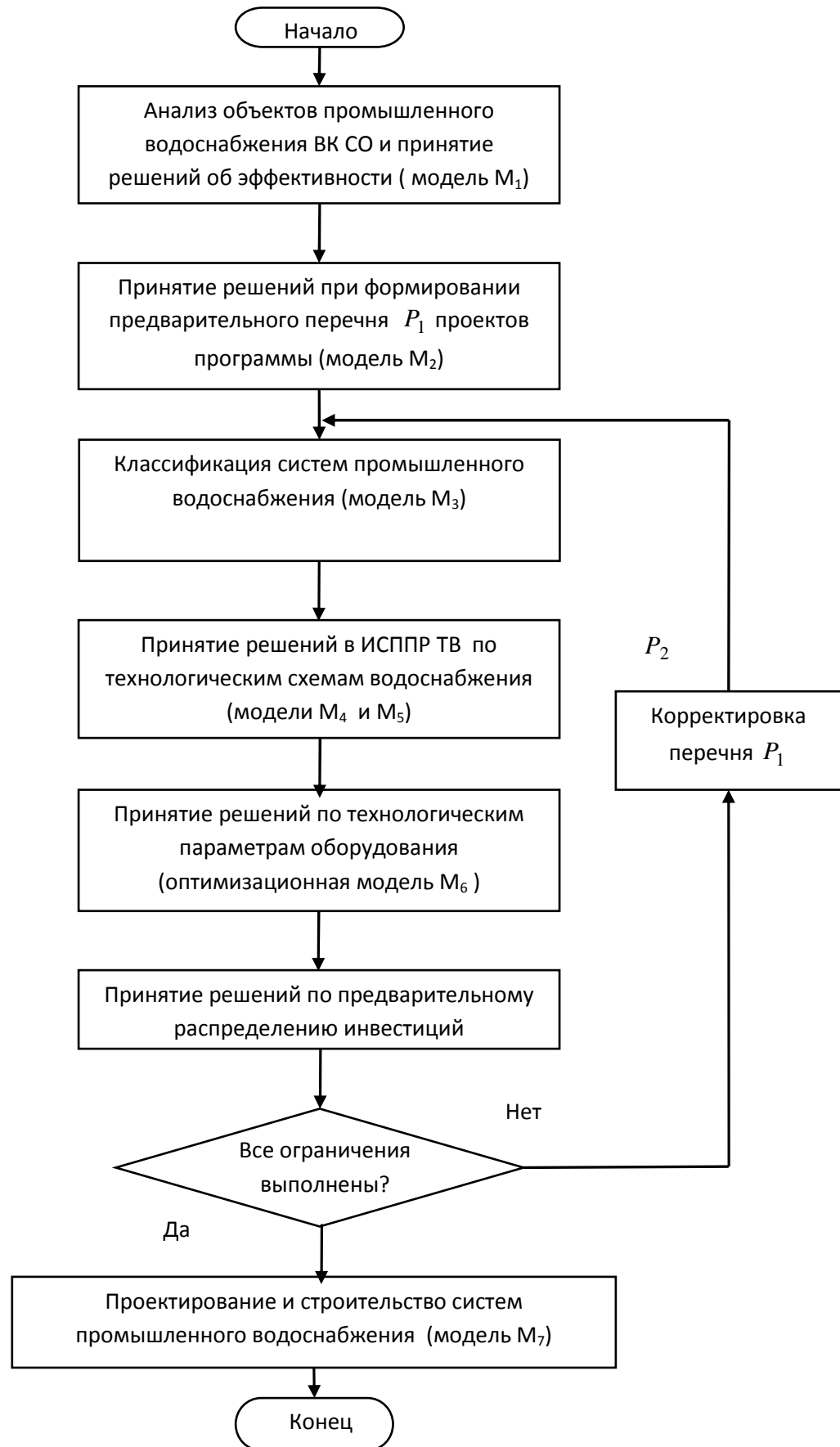


Рисунок 3.12 – Общий алгоритм принятия решений при управлении в водохозяйственном комплексе

Затем проводится исследование по методологии P-DEA, которая дает возможность определить наиболее рациональное развитие объектов и систем водоснабжения. Предложенная нами интеллектуальная система поддержки принятия решений ИСППР работает на этапе предварительного этапа проекта до утверждения инвестиций.

В результате работы ИСППР на основе полученных альтернативных технологических схем, рассчитываются затраты на оборудование и эксплуатацию, показатели энерговооруженности системы водоснабжения, необходимая площадь и другие. Если какие-то из заданных требований и ограничений не выполнены, то проводится корректировка и формируется множество $P_2 \subseteq P_1$ - уточненный перечень проектов, полученный в результате работы ИСППР. После этого предварительный этап проектирования повторяется для уточнения состава проектов.

При выполнении всех условий, налагаемых на проекты программы, составляется $P^* \subseteq P_2$ - окончательный перечень проектов, представляемый для утверждения правительством региона.

На этапе проектирования и строительства ИСППР ТВ может работать как элемент САПР строительного проектирования.

В дальнейшем в процессе эксплуатации методика P-DEA и ИСППР ТВ используются для прогнозирования развития систем водоснабжения в условиях изменяющихся техногенных и природных факторов.

Выводы

1. На основе комплекса системных моделей сформулирован алгоритм принятия решений и разработана структура ИСППР ТВ производственного типа.
2. Разработаны логико-лингвистические модели принятия решений, основанные на классификаторе технологий водоподготовки и водоочистки. Созданы базы фактов и базы правил экспертной системы, дифференцированные по классам подземных и поверхностных источников воды.

3. Особенностью ИСППР ТВ является получение в общем случае нескольких альтернативных вариантов реализации технологической схем водоснабжения. Это даёт возможность оценить предложенные варианты на соответствие существующим ограничениям, и принять решение о предпочтительности той или иной технологической схемы. В результате работы ИСППР на основе полученных альтернативных технологических схем, рассчитываются затраты на оборудование и эксплуатацию, показатели энерговооруженности системы водоснабжения, необходимая площадь и другие.

4. Разработана математическая задача оптимизации параметров оборудования технологических схем водоснабжения. Задача сформулирована как задача дискретного программирования с булевыми переменными.

Глава 4. Апробация ИСППР ТВ при управлении региональной целевой программой водоснабжения и проектировании систем промышленного водоснабжения

4.1 Применение методов комплексной оценки эффективности систем водоснабжения в рамках региональной программы «Чистая вода»

Разработанные в диссертации методы на основе DEA были практически использованы при оценке состояния объектов водоснабжения промышленного и хозяйственно-бытового назначения для принятия решений о включении в целевую региональную программу. Методика построения искусственных объектов для группы однородных систем водоснабжения дала возможность определить первоначальный диапазон размеров инвестиций в реконструкцию или строительство новых объектов.

При подготовке перечня объектов региональной программы рассматривалось 156 потенциальных объектов. При этом 58 объектов было проанализировано с использованием разработанных метода и моделей комплексной оценки. В результате было предложено оставить 30 объектов для включения в целевую областную программу «Чистая вода».

Для 5 объектов нового строительства систем водоснабжения на предпроектном этапе были определены размеры бюджетного инвестирования. Объекты были сгруппированы по параметрам воды в соответствии с методикой кластеризации, приведенной в п. 2.3 главы 2.

Результаты приведены в таблице 4.1. В связи с тем, что, начиная с 2010 года, финансирование целевой программы было резко сокращено, проведено сравнение только с реально выполненными проектами. Количество таких проектов равно 11.

Таблица 4.1 – Комплексная оценка размера инвестиций в объекты целевой программы

NN пп	Объект водоснабжения целевой региональной программы	Коды признаков кластеров водозаборов	Объем финансиро вания ПИР, определен ный на предпроект ном этапе, тыс. руб.	Реальный объем финанси рования ПИР, тыс. руб.	Изменение плана финансиро вания, %
Объекты, по которым проводилась оценка с использованием DEA					
1	с. Большая Глушица Большеглушицкого р-на	П2, П3	1100,0	1 167,463	6
2	с. Августовка Большечерниговского р-на	П2, П3	6 200,0	6 472,696	4,4
3	с. Украинка Большечерниговского р-на	П2, П3	4 900,0	4 968,251	1,4
4	с. Пекилянка Большечерниговского р-на	П2, П3	7100,0	7 002,230	- 1,37
5	с. Высокое Пестравского р-на	П2, П3, П4	3 100,0	3 330,149	6,45
Объекты, по которым не проводилась оценка с использованием DEA					
1	с. Безенчук Безенчукского р-на	П3, П4	1000,0	1 231,638	23
2	с. Екатериновка Безенчукского р-на	П3, П4	4 200,0	4 496,857	7
3	с. Борское Борского р-на	П4	4 300,0	4 511,184	5
4	с. Гостевка Борского р-на	П4	1 500,0	1 684,317	12,3
5	с. Красные Дома Елховского р-на	П4	1 450,0	1 517,126	4,6
6	с. Дмитриевка Нефтегорского района	П	1000,0	1 167,867	16,8
7	п. Романовка Шенталинского р-на	УП	9000,0	11 007,382	22,3
8	п. Дальний Алексеевского р-на	НП	900,0	1 136,852	26
9	д. Ганькино Матак Иса克林ского р-на	П1	4 200,0	4 629,544	10
10	п. Коммунарский Красноярского р-на	П4	5 760,0	6 132,919	6,5
11	п. Пионерский Шигонского р-на	П	2 100,0	2 366,058	12,7

Таким образом, использование методологии DEA для построения искусственных объектов и определения перспективного развития объектов водоснабжения обеспечивает погрешность в размерах инвестиций не более 10 %.

В то же время объекты, которые не подвергались системному анализу, были недофинансированы по плану в диапазоне от 5 % до 23 %. Это объясняется недостаточно обоснованным принятием решений без учета многих факторов.

4.2 Проектирование технологических схем водоснабжения с использованием ИСППР ТВ

4.2.1 Задача оптимизации технологического оборудования для предприятия мясомолочной продукции в п. Кутузовский Самарской области

Как было показано ранее в главе 2, одним из важных этапов оценки эффективности объектов промышленного водоснабжения является решение задачи оптимизации с использованием модели математического программирования M_6 . Математическая постановка задачи оптимизации приведена в главе 3, выражение (3.12).

Для выполнения задачи оптимизации необходимо получить сгенерированные в результате работы ИСППР ТВ технологические схемы водоподготовки, а также разработать и наполнить базу по оборудованию для каждого типа операций в полученных технологических схемах.

Рассмотрим работу системы и решение задачи оптимизации на примере системы водоснабжения предприятия мясомолочной продукции в п. Кутузовский. На рисунке 4.1 приведены входные данные по пробам водозабора и результат работы ИСППР ТВ по формированию технологических схем.

Как видно, система предложила на выбор 2 варианта технологических схем водоочистки.

Всего по двум схемам имеем 5 различных типов аппаратов.

1 вариант: (ГА – С – Обз) $S_1 = \{1,3,4\}$.

2 вариант: (А – С – Д – Обз) $S_2 = \{2,3,4,5\}$.

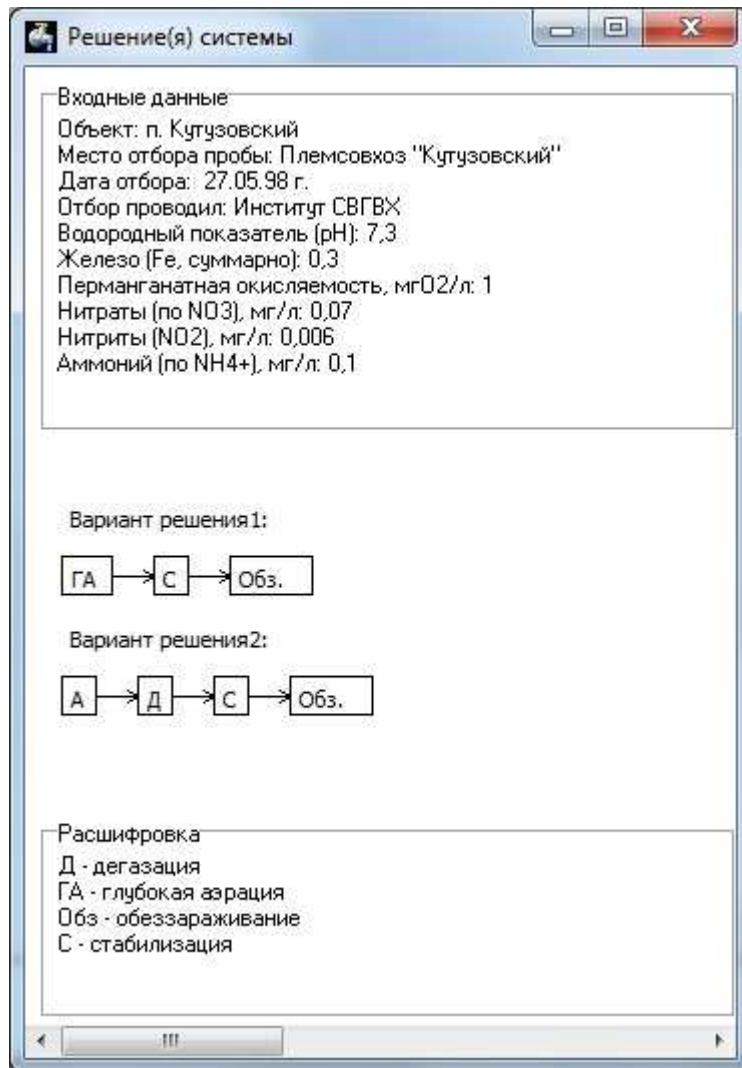


Рисунок 4.1 – Результат работы ИСППР ТВ по данным из п. Кутузовский

Математическая формулировка задачи оптимизации:

а) Технологическая схема S_1

Целевая функция: $j = 1; C_1 = \min \sum_{m \in \{1,3,4\}} \sum_{n=1}^{M_m} (d_{m,n,1} + d_{m,n,2} * H * T) x_{mn},$
 $M_1 = 2; M_3 = 10; M_4 = 10.$

Ограничения:

1. $\sum_{n=1}^{M_m} x_{mn} = 1; m \in \{1,3,4\}; M_1 = 2; M_3 = 10; M_4 = 10,$ - единственность выбора одной модели одного типа аппарата;
2. $\sum_{m \in \{1,3,4\}} \sum_{n=1}^{M_m} d_{m,n,2} x_{mn} \leq 2,5;$ - ограничение на потребляемую системой мощность;
3. $5 \leq d_{m,n,3} x_{mn} \leq 6;$ - ограничение на производительность системы,
4. $d_{m,n,4} x_{mn} \leq 500;$
 – ограничение на объем емкости для воды в составе модели аппарата, для $m = 1, n = \overline{1,2}; m = 3, n = \overline{1,10}; m = 4, n = \overline{1,10}.$

б) Технологическая схема S_2

Целевая функция: $j = 2; C_1 = \min \sum_{m \in \{2,3,4,5\}} \sum_{n=1}^{M_m} (d_{m,n,1} + d_{m,n,2} * H * T) x_{mn},$
 $M_2 = 5; M_3 = 10; M_4 = 10, M_5 = 5,$

где m принадлежит множеству индексов операций в технологической схеме,

$H = 26\,280$ ч - число часов в году,

T - тариф за электроэнергию,

$d_{m,n,1}$ - стоимость модели аппарата,

$d_{m,n,2}$ - потребляемая мощность (КВт).

Ограничения:

1. $\sum_{n=1}^{M_m} x_{mn} = 1; m \in \{2,3,4,5\}; M_2 = 5; M_3 = 10; M_4 = 10; M_5 = 5;$
2. $\sum_{m \in \{2,3,4,5\}} \sum_{n=1}^{M_m} d_{m,n,2} x_{mn} \leq 2,5;$
3. $5 \leq d_{m,n,3} x_{mn} \leq 7;$
4. $d_{m,n,4} x_{mn} \leq 500;$
 для $m = 5, n = \overline{1,2}; m = 3, n = \overline{1,10}; m = 4, n = \overline{1,10}; m = 5, n = \overline{1,5}.$

Формулировка задачи для стандартных математических пакетов часто выполняется в виде одинарных сумм с использованием линейного индекса. Для простоты будем рассматривать отдельно два варианта технологической схемы. Для каждого из них приведен линейный индекс, который получается при преобразовании двойных сумм.

В таблице 4.2 представлена организация данных для задачи, построенная на основе базы данных по оборудованию водоподготовки, входящей в состав ИСППР ТВ.

Таблица 4.2 – Пример базы по водоочистному оборудованию

Индекс <i>m</i>	Тип аппарата	Индекс <i>n</i>	Линейный Индекс Вариант 1	Линейный индекс Вариант 2	Модель аппарата	Параметры модели аппарата				
						Стоимость, руб $d_{mn,1}$	Потребляемая мощность, КВт $d_{mn,2}$	Производительность, м ³ /ч $d_{mn,3}$	Объем емкости (бака), л $d_{mn,4}$	Стоимость + годовые затраты на электроэнергию $d_{mn,1}+HT d_{mn,2}$
1	Безнапорная система глубокой активации (ГА)	1,1	1	х	АкваФрешСистемс S1	97 995	1	3	300	124 275
		1,2	2	х	АкваФрешСистемс S2	133 318	1,3	6	500	167 482
2	Аэрационный комплекс (А)	2,1	х	1	АК 10х54	27 630	0,400	1,5	-	38 142
		2,2	х	2	АК 13х54	33 370	0,400	3	-	43 882
		2,3	х	3	АК 14х65	38 520	0,500	5	-	51 660
		2,4	х	4	АК 16х65	39 600	0,650	6	-	56 682
		2,5	х	5	АК 21х62	43 840	0,750	8	-	63 550
3	Системы стабилизации воды (С)	3,1	3	6	С.М.А. DVA 12	21 750	0,200	1,5	100	27 006
		3,2	4	7	С.М.А. DVA 16	28 300	0,240	2	200	34 607
		3,3	5	8	АКВАФЛОУ SF -75-56	29 100	0,100	2,14	150	31 728
		3,4	6	9	АКВАФЛОУ SF -100-77	33 400	0,100	2,5	200	36 628
		3,5	7	10	АКВАФЛОУ SF -100-77	36 200	0,100	3,2	200	38 828
		3,6	8	11	АКВАФЛОУ SF -100-77	39 700	0,100	4,1	300	42 328
		3,7	9	12	АКВАФЛОУ SF -100-77	44 250	0,100	5,5	300	46 878
		3,8	10	13	VI-FS/1252/268XS/WS	36 710	0,150	2,5	450	40 652
		3,9	11	14	VI-FS/1354/268XS/WS	41 616	0,170	3,5	550	46 083
		3,10	12	15	VI-FS/1465/268XS/WS	46 512	0,200	4,6	650	51 768
4	Обеззараживание (Обз)	4,1	13	16	УОВ – 0,5м-03	4600	0,015	0,3	20	4 994
		4,2	14	17	УОВ – 0,5м-1	13 245	0,030	1	20	14 033
		4,3	15	18	УОВ – 0,5м-2	16 320	0,040	2	50	17 371
		4,4	16	19	УОВ – 0,5м-4	37 970	0,070	4	10	39 809
		4,5	17	20	УОВ – 0,5м-6	44 160	0,090	6	100	46 525
		4,6	18	21	Food3-10k-20	67 170	0,100	3	50	69 798

Продолжение таблицы 4.2

Индекс <i>m</i>	Тип аппарата	Индекс <i>n</i>	Линей ный Индекс Вариант 1	Линей ный индекс Вариант 2	Модель аппарата	Параметры модели аппарата				
						Стоимость, руб $d_{mn,1}$	Потребля емая мощность, КВт $d_{mn,2}$	Произ водите льность, м ³ /ч $d_{mn,3}$	Объем емкости (бака), л $d_{mn,4}$	Стоимость + годовые затраты на электроэнергию $d_{mn,1}+HT d_{mn,2}$
4	Обеззараживание (Обз)	4,7	19	22	Food5-20k-30	73 500	0,200	5	30	78 756
		4,8	20	23	Food10-30k-40	82 600	0,300	10	40	90 484
		4,9	21	24	Food15-50k-40	101 210	0,500	15	40	114 350
		4,10	22	25	Food10-100k-410	151 386	0,200	10	410	156 642
5	Дегазация (Д)	5,1	х	26	Extra-Flow 2,5 x 8"	18 230	0,300	0,7	-	26 114
		5,2	х	27	Extra-Flow 4 x 13"	29 021	0,400	3,4	-	39 533
		5,3	х	28	Extra-Flow 4 x 28"	42 960	0,450	6,8	-	54 786
		5,4	х	29	Extra-Flow 6 x 28"	58 090	0,720	11,0	-	77 011
		5,5	х	30	Extra-Flow 8 x 20"	68 100	0,720	11,4	-	87 021

Тогда задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом.

Вариант 1 – технологическая схема S_I

Целевая функция:

$$124275x_1 + 167482x_2 + 27006x_3 + 34607x_4 + 31728x_5 + 36628x_6 + 38828x_7 + 42328x_8 + 46878x_9 + 40652x_{10} + 51768x_{12} + 4994x_{13} + 14033x_{14} + 17371x_{15} + 39809x_{16} + 46525x_{17} + 69798x_{18} + 78756x_{19} + 90484x_{20} + 114350x_{21} + 156642x_{22} \rightarrow \min$$

Ограничения:

Единственность выбора модели аппарата

$$x_1 + x_2 = 1$$

$$x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} = 1$$

$$x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} = 1$$

Ограничение на суммарную мощность системы

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} \leq 2,5$$

Ограничения на производительность моделей аппаратов

$$3x_1 \leq 6 \quad 2,14x_5 \leq 6 \quad 5,5x_9 \leq 6 \quad 0,3x_{13} \leq 6 \quad 6x_{17} \leq 6 \quad 15x_{21} \leq 6$$

$$-3x_1 \leq -5 \quad -2,14x_5 \leq -5 \quad -5,5x_9 \leq -5 \quad -0,3x_{13} \leq -5 \quad -6x_{17} \leq -5 \quad -15x_{21} \leq -5$$

$$6x_2 \leq 6 \quad 2,5x_6 \leq 6 \quad 2,5x_{10} \leq 6 \quad x_{14} \leq 6 \quad 3x_{18} \leq 6 \quad 10x_{22} \leq 6$$

$$-6x_2 \leq -5 \quad -2,5x_6 \leq -5 \quad -2,5x_{10} \leq -5 \quad -x_{14} \leq -5 \quad -3x_{18} \leq -5 \quad -10x_{22} \leq -5$$

$$1,5x_3 \leq 6 \quad 3,2x_7 \leq 6 \quad 3,5x_{11} \leq 6 \quad 2x_{15} \leq 6 \quad 5x_{19} \leq 6$$

$$-1,5x_3 \leq -5 \quad -3,2x_7 \leq -5 \quad -3,5x_{11} \leq -5 \quad -2x_{15} \leq -5 \quad -5x_{19} \leq -5$$

$$2x_4 \leq 6 \quad 4,1x_8 \leq 6 \quad 4,6x_{12} \leq 6 \quad 4x_{16} \leq 6 \quad 10x_{20} \leq 6$$

$$-2x_4 \leq -5 \quad -4,1x_8 \leq -5 \quad -4,6x_{12} \leq -5 \quad -4x_{16} \leq -5 \quad -10x_{20} \leq -5$$

Ограничения на объем емкости для воды

$$300x_1 \leq 500 \quad 150x_5 \leq 500 \quad 300x_9 \leq 500 \quad 20x_{13} \leq 500 \quad 100x_{17} \leq 500 \quad 40x_{21} \leq 500$$

$$500x_2 \leq 500 \quad 200x_6 \leq 500 \quad 450x_{10} \leq 500 \quad 20x_{14} \leq 500 \quad 50x_{18} \leq 500 \quad 410x_{22} \leq 500$$

$$100x_3 \leq 500 \quad 200x_7 \leq 500 \quad 550x_{11} \leq 500 \quad 50x_{15} \leq 500 \quad 30x_{19} \leq 500$$

$$200x_4 \leq 500 \quad 300x_8 \leq 500 \quad 650x_{12} \leq 500 \quad 10x_{16} \leq 500 \quad 40x_{20} \leq 500$$

Вариант 2 – технологическая схема S_2

Целевая функция:

$$38142x_1 + 43882x_2 + 51660x_3 + 56682x_4 + 63550x_5 + 27006x_6 + 34607x_7 + 31728x_8 + 36628x_9 + 38828x_{10} + 42328x_{11} + 46878x_{12} + 40652x_{13} + 46083x_{14} + 51768x_{15} + 4994x_{16} + 14033x_{17} + 17371x_{18} + 39809x_{19} + 46525x_{20} + 69798x_{21} + 78756x_{22} + 90484x_{23} + 114350x_{24} + 156642x_{25} + 26114x_{26} + 39533x_{27} + 54786x_{28} + 77011x_{29} + 87021x_{30} \rightarrow \min$$

Ограничения:

Единственность выбора модели аппарата

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 1$$

$$x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} = 1$$

$$x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} = 1$$

$$x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} = 1$$

Ограничение на суммарную мощность системы

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} + x_{25} + x_{26} + x_{27} + x_{28} + x_{29} + x_{30} \leq 2,5$$

Ограничения на производительность моделей аппаратов

$$1,5x_1 \leq 6 \quad 1,5x_6 \leq 6 \quad 4,1x_{11} \leq 6 \quad 0,3x_{16} \leq 6 \quad 3x_{21} \leq 6 \quad 0,7x_{26} \leq 6$$

$$-1,5x_1 \leq -5 \quad -1,5x_6 \leq -5 \quad -4,1x_{11} \leq -5 \quad -0,3x_{16} \leq -5 \quad -3x_{21} \leq -5 \quad -0,7x_{26} \leq -5$$

$$3x_2 \leq 6 \quad 2x_7 \leq 6 \quad 5,5x_{12} \leq 6 \quad x_{17} \leq 6 \quad 5x_{22} \leq 6 \quad 3,4x_{27} \leq 6$$

$$-3x_2 \leq -5 \quad -2x_7 \leq -5 \quad -5,5x_{12} \leq -5 \quad -x_{17} \leq -5 \quad -5x_{22} \leq -5 \quad -3,4x_{27} \leq -5$$

$$5x_3 \leq 6 \quad 2,14x_8 \leq 6 \quad 2,5x_{13} \leq 6 \quad 2x_{18} \leq 6 \quad 10x_{23} \leq 6 \quad 6,8x_{28} \leq 6$$

$$-5x_3 \leq -5 \quad -2,14x_8 \leq -5 \quad -2,5x_{13} \leq -5 \quad -2x_{18} \leq -5 \quad -10x_{23} \leq -5 \quad -6,8x_{28} \leq -5$$

$$6x_4 \leq 6 \quad 2,5x_9 \leq 6 \quad 3,5x_{14} \leq 6 \quad 4x_{19} \leq 6 \quad 15x_{24} \leq 6 \quad 11x_{29} \leq 6$$

$$-6x_4 \leq -5 \quad -2,5x_9 \leq -5 \quad -3,5x_{14} \leq -5 \quad -4x_{19} \leq -5 \quad -15x_{24} \leq -5 \quad -11x_{29} \leq -5$$

$$8x_5 \leq 6 \quad 3,2x_{10} \leq 6 \quad 4,6x_{15} \leq 6 \quad 6x_{20} \leq 6 \quad 10x_{25} \leq 6 \quad 11,4x_{30} \leq 6$$

$$-8x_5 \leq -5 \quad -3,2x_{10} \leq -5 \quad -4,6x_{15} \leq -5 \quad -6x_{20} \leq -5 \quad -10x_{25} \leq -5 \quad -11,4x_{30} \leq -5$$

Ограничения на объем емкости для воды

$$100x_6 \leq 500 \quad 300x_{12} \leq 500 \quad 50x_{18} \leq 500 \quad 40x_{24} \leq 500$$

$$200x_7 \leq 500 \quad 450x_{13} \leq 500 \quad 10x_{19} \leq 500 \quad 410x_{25} \leq 500$$

$$150x_8 \leq 500 \quad 550x_{14} \leq 500 \quad 100x_{20} \leq 500$$

$$200x_9 \leq 500 \quad 650x_{15} \leq 500 \quad 50x_{21} \leq 500$$

$$200x_{10} \leq 500 \quad 20x_{16} \leq 500 \quad 30x_{22} \leq 500$$

$$300x_{11} \leq 500 \quad 20x_{17} \leq 500 \quad 40x_{23} \leq 500$$

В результате оптимизации по первому варианту технологической схемы были выбраны следующие аппараты:

1. Безнапорная система глубокой активации АкваФрешСистемс S2;
2. Система стабилизации воды АКВАФЛОУ SF -100-77 с производительностью 5,5 м³/ч;
3. Система обеззараживания ультрафиолетовым излучением УОВ – 0,5м-6.

Общая стоимость оборудования с учётом годовых затрат на электроэнергию составляет **260 885** рублей.

Для построения технологической схемы по второму варианту были выбрано следующее оборудование:

1. Аэрационный комплекс АК 14х65;
2. Система стабилизации воды АКВАФЛОУ SF -100-77 с производительностью 5,5 м³/ч;
3. Система обеззараживания ультрафиолетовым излучением УОВ – 0,5м-6;
4. Система дегазации воды Extra-Flow 4 х 28”.

В этом случае общая стоимость оборудования с учётом годовых затрат на электроэнергию составит **199 849** рублей.

Видно, что при прочих равных условиях реализация второй из двух предложенных технологических схем экономически выгоднее.

4.2.2 Использование ИСППР ТВ при проектировании объектов промышленного водоснабжения

В ходе выполнения целевой региональной программы Самарской области [114] в течение семи лет были рассмотрены 156 объектов, нуждающихся в реконструкции или создании новых систем водоснабжения.

Подробному анализу с использованием на предпроектном этапе разработанной ИСППР ТВ было подвергнуто **32** объекта. По этим объектам были собраны данные по следующим показателям:

- название заказа;
- тип объекта (для каких целей используется водоподготовка);
- технологическая схема очистки воды;
- тип воды (основные сведения о хим. анализе);
- производительность ($\text{м}^3/\text{ч}$);
- стоимость оборудования;
- занимаемая площадь;
- наличие договора по плановому обслуживанию;
- стоимость работ по плановому обслуживанию на год;
- стоимость расходных материалов на год.

На основании вышеуказанных данных были рассчитаны следующие удельные показатели:

- суточная производительность ($\text{м}^3/\text{сутки}$);
- стоимость оборудования на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- занимаемая площадь на $1 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- затраты на 1 м^3 .

Решение задачи оптимизации подбора оборудования к технологическим схемам было выполнено для 16 объектов промышленного водоснабжения.

Результаты работы ИСППР ТВ приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты работы ИСППР ТВ

Название заказа	Тип объекта				Технологическая схема очистки воды	Тип воды				Произво- дительность		Стоимость оборудования, руб.	Стоимость на 1 м ³ /ч, руб.	Занимаемая площадь, м ²	Площадь на 1 м ³ /ч, м ²	Стоимость работ по плановому ТО на год, руб.	Стоимость расходных материалов на год, руб
	пищевлок	котельная	для технологий	водозабор		общ. жесткост ь, мг×экв/л	железо, мг/л	марганец, мг/л	минерализаци я, мг/л	м ³ /ч	м ³ /сут						
Пищекомбинат г. Бугуруслан			+		Н-МкОС	6,0	0,3	0,1	-	5,0	120,0	126 430	25 286	4	0,8	-	-
МПП ЖКХ г. Соль-Илецк			+		МкР	7,2	0,1	-	669	20,0	480,0	143 605	7 180	1	0,1	-	248 262
ДжиЭм- АВТОВАЗ цех окраски			+		Н-РМкМЗР	3,5	1,2	-	244	22,0	528,0	3 165 000	143 864	16	0,7	-	-
ООО "Пиво- Люкс"			+		МкАз	3,1	0,8	0,0	244	1,0	24,0	66 750	66 750	2	2,0	-	30 383
ДжиЭм- АвтоВАЗ цех сварки кузовов			+		Н-МкУР	4,8	0,1	-	-	3,0	72,0	344 109	114 703	6	2,0	-	-
ЗАО Роскат подпитка охлаждения			+		Н-МкУ	5,5	0,6	-	-	5,5	132,0	506 176	92 032	6	1,1	-	228 623
ЗАО Роскат цех №3			+		Н-МкУ	6,0	0,2	-	560	2,0	48,0	199 690	99 845	4	2,0	-	44 232
Тольяттихлеб			+		Н-МкУ	6,4	0,5	0,2	-	1,0	24,0	121 754	121 754	4	4,0	45 286	16 648
ЖБК Тольяттинский			+		Н-МкУ	6,5	1,0	-	-	1,5	36,0	153 336	102 224	3	2,0	-	14 944
Автопластинжин иринг			+		Н-МкСУАкС	8,0	0,1	-	652	1,0	24,0	136 081	136 081	4	4,0	6 958	16 939
Самарская отопительная техника		+			Н-МкУ	13,5	0,9	0,1	1 115	2,3	55,2	188 565	81 985	4	1,7	-	1 192
Сергиевск ЦРБ			+		Н-МкУ	14,9	0,1	-	900	1,0	24,0	116 520	116 520	3	3,0	37 318	110 603

Продолжение таблицы 4.3

Название заказа	Тип объекта				Технологическая схема очистки воды	Тип воды				Произво- дительность		Стоимость оборудования, руб.	Стоимость на 1 м ³ /ч, руб.	Занимаемая площадь, м ²	Площадь на 1 м ³ /ч, м ²	Стоимость работ по плановому ТО на год, руб.	Стоимость расходных материалов на год, руб
	пищевлок	котельная	для технологии	водозабор		общ. жесткост ь, мг×ЭКВ/л	железо, мг/л	марганец, мг/л	минерализаци я, мг/л	м ³ /ч	м ³ /сут						
Самарский комбикормовый завод		+			Н-МкУР	27,7	0,7	-	2 384	2,0	48,0	250 880	125 440	4	2,0	-	-
ООО Волга-С			+		Н-МкАзУС	6,3	0,0	0,0	-	2,0	48,0	250 000	125 000	6	3,0	-	24 912
Самарский жиркомбинат Участок 1			+		Н- МкРОзАзУ	1,0	1,0	-	307	3,0	72,0	802 681	267 560	12	4,0	166 949	109 017
Самарский жиркомбинат Участок 2			+		Н- МкМзАзУД	4,7	0,5	-	386	0,5	12,0	674 900	1 349 800	8	16,0	есть	27 825

Обозначения технологических схем очистки воды приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Принятые обозначения технологических схем очистки воды

Обозначение	Вид оборудования
Мк	Фильтр очистки от механических примесей со сменным элементом (картриджем) или сетчатый фильтр с автоматической промывкой
Мз	Фильтр очистки от механических примесей с фильтрующей загрузкой на основе гравия и кварцевого песка различного фракционного состава
О	Обеззараживатель безреагентный или с регенерацией реагентом
У	Умягчитель натрий-катионовый с регенерацией поваренной солью
Ак	Фильтр картриджного типа с активированным углем
Аз	Фильтрующая колонна с активированным углем
С	Стерилизатор ультрафиолетовым светом (УФ-стерилизатор)
Д	Обратный осмос, деминерализатор с нерегенерируемой смолой
Н	Насос-автомат или насосная станция (бустерная установка)
Е	Накопительная емкость или контактная емкость-отстойник
Р	Комплекс пропорционального дозирования реагентов (насос-дозатор с управлением от счетчика воды с импульсным выходом)

4.3 Программная реализация интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения

Интеллектуальная система поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки разработана на языке Delphi. Установка приложения производится запуском файла `install.exe`. По умолчанию приложение устанавливается по следующему пути: `c:\Program Files\ИСППРТВ`. Запуск приложения возможен из меню «Пуск» → «Программы» → «ИСППРТВ» или ярлыка на рабочем столе «ИСППРТВ».

При запуске приложения открывается окно «Выбор оператора» (рисунок 4.2). После заполнения соответствующих полей открывается главная форма системы (рисунок 4.3) состоящая из панели основных меню, рабочего поля и окна системных сообщений.

Окно системных сообщений фиксирует действия оператора и позволяет отслеживать пошаговое исполнение работы системы в целом, для дальнейшей корректировки входных и промежуточных данных при выводе наиболее оптимального решения.

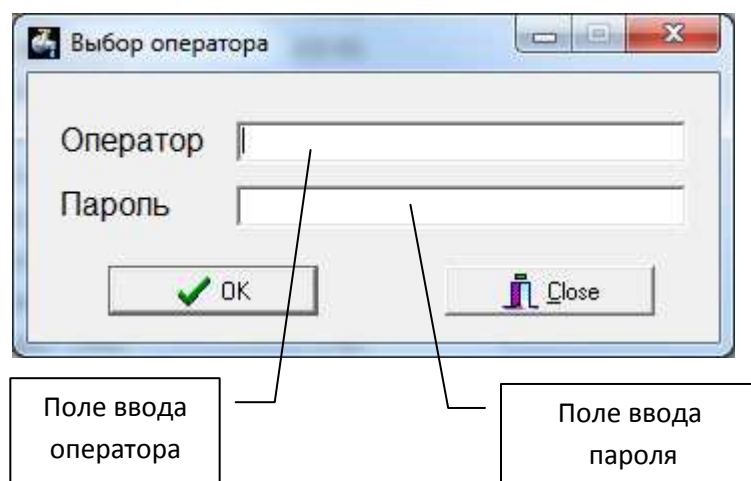


Рисунок 4.2 – Окно «Выбор оператора»

На рабочей области главной формы располагаются закладки с входными данными по анализу воды в зависимости от выбранного типа.

Панель основных меню позволяет выполнять основные действия системы в зависимости от прав ввода и редактирования данных выданных оператору администратором системы.



Рисунок 4.3 – Главная форма ИСППР ТВ

При выборе в меню «Файл» подменю «Новый проект» открывается окно выбора типа источника (рисунок 4.4).

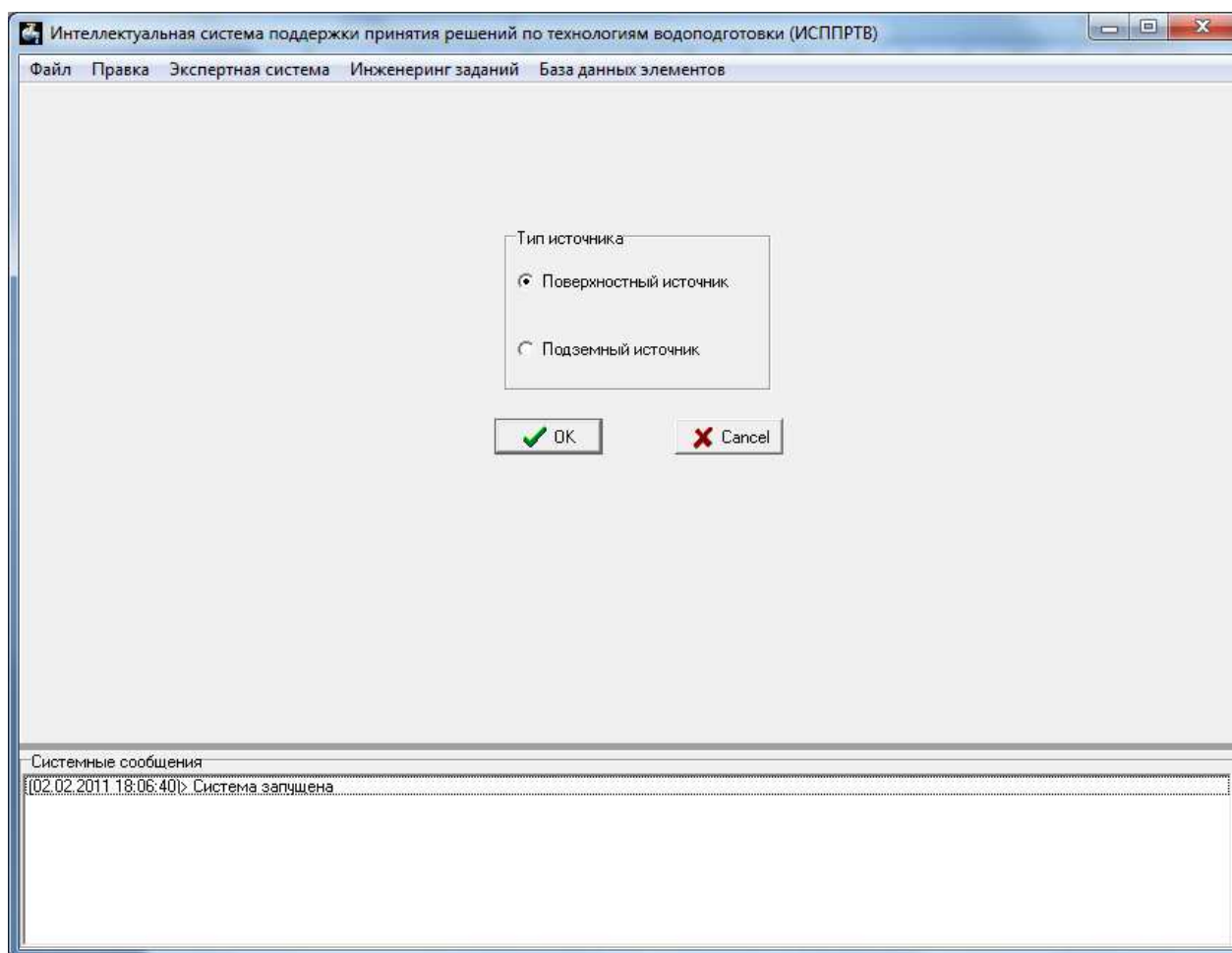


Рисунок 4.4 – Выбор источника водозабора

В зависимости от выбранного источника водозабора, в рабочей области приложения, открываются закладки для ввода входных данных по составу воды.

После выбора «Нового проекта» и типа источника – «Поверхностные воды» в рабочей области программы формируются четыре закладки по вводу входных данных по составу воды.

«Анкетные данные» (рисунок 4.5) - заполняются оператором для вывода в отчет информации об объекте, содержит следующие поля:

- объект;
- место отбора пробы;
- дата отбора;
- отбор проводил.

«Фоновые показатели качества» (рисунок 4.6) – заполняются поля оператором по фоновым показателям качества воды, содержит следующие поля:

- цветность;
- мутность;
- водородный показатель;
- перманганатная окисляемость;
- общая минерализация;
- количество фитопланктона;
- жесткость общая.

Ввод данных производится двойным нажатием в соответствующем поле таблицы левой клавишей мыши.

«Антропогенная нагрузка» (рисунок 4.7) – заполняются поля оператором по антропогенному содержанию воды, содержит следующие поля:

- нефтепродукты;
- фенолы;
- ПАВ анионоактивные;
- азот аммонийный;
- нитраты;
- нитриты;
- линдан;
- гептахлор;
- ДДТ;
- ртуть;
- свинец;
- хром;
- медь;
- цинк;
- железо;
- кадмий;
- четыреххлористый углерод;
- хлороформ;
- диоксины;

- общая α -радиация;
- общая β -радиация;
- пестициды хлорорганические;
- пестициды фосфорорганические.

Поле ввода объекта исследования

Поле ввода места отбора воды

Поле ввода даты отбора воды

Поле ввода Ф.И.О. эксперта

Интеллектуальная система поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки (ИСППРТВ)

Файл Правка Экспертная система Инженеринг заданий База данных элементов

Заполнение таблиц

Анкетные данные водозабора | Фоновые показатели качества | Антропогенная нагрузка | Фазо-дисперсное состояние примесей и временной фактс

Объект: Резервуар на НФС

Место отбора пробы: г. Жигулевск

Дата отбора: 2012 г.

Отбор проводил: ЦГСЭН г. Жигулевска

Построить технологическую схему Сброс

Системные сообщения

(18.05.2014 9:25:19)> Система запущена
(18.05.2014 9:25:24)> Выбран поверхностный тип вод
(18.05.2014 9:25:24)> Создан новый проект

Кнопка вывода решения системы

Кнопка сброса данных

Рисунок 4.5 – Закладка «Анкетные данные»

Интеллектуальная система поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки (ИСППРТВ)

Файл Правка Экспертная система Инженеринг заданий База данных элементов

Заполнение таблиц

Анкетные данные водозабора | **Фоновые показатели качества** | Антропогенная нагрузка | Фазо-дисперсное состояние примесей и временной фактс

Параметры	Входные данные	СанПиН	Превышение ПДК
Цветность, град.ПКШ	25	20,00	1,25
Мутность, мг/л	0,9	1,50	0
Водородный показатель (рН)	7,5	9,00	0
Перманганатная окисляемость, мгО ₂ /л	0	5,00	0
Общая минерализация, мг/л	297	1000	0
Количество клеток фитопланктона, кл/мл	0		0
Жесткость общая, мг-экв/л	4,4	7,00	0

Построить технологическую схему Сброс

Системные сообщения

(02.02.2011 20:36:58) > Группа 2
 (02.02.2011 20:36:58) > Группа 3
 (02.02.2011 20:36:58) > Технологическая схема 4
 (02.02.2011 20:36:59) > БПБ->К(Ф)->СкФР1->ОЗ->СрГУ->ХЛ
 (02.02.2011 20:36:59) > Технологическая схема 5
 (02.02.2011 20:36:59) > БПБ->ОЗ1->К(Ф)->ХЛО->ОтР->СкФР->ОЗ2->СрГУ->ХЛ
 (02.02.2011 20:36:59) > Технологическая схема 7
 (02.02.2011 20:36:59) > ХЛ->К(Ф)->СкФР1->СрПУ->СкФР2->ХЛ

Поля ввода исходных данных

Показатели СанПиН

Поля вывода превышения ПДК

Рисунок 4.6 – Закладка «Фоновые показатели качества»

«Фазо-дисперсное состояние примесей и временной фактор присутствия» (рисунок 4.8) – заполняются поля оператором по фазо-дисперсному состоянию, содержит следующие поля:

- взвеси;
- коллоидные растворы;
- молекулярные растворы;
- ионные растворы;
- период проявления до трех месяцев в году;
- постоянной присутствии в течение года.

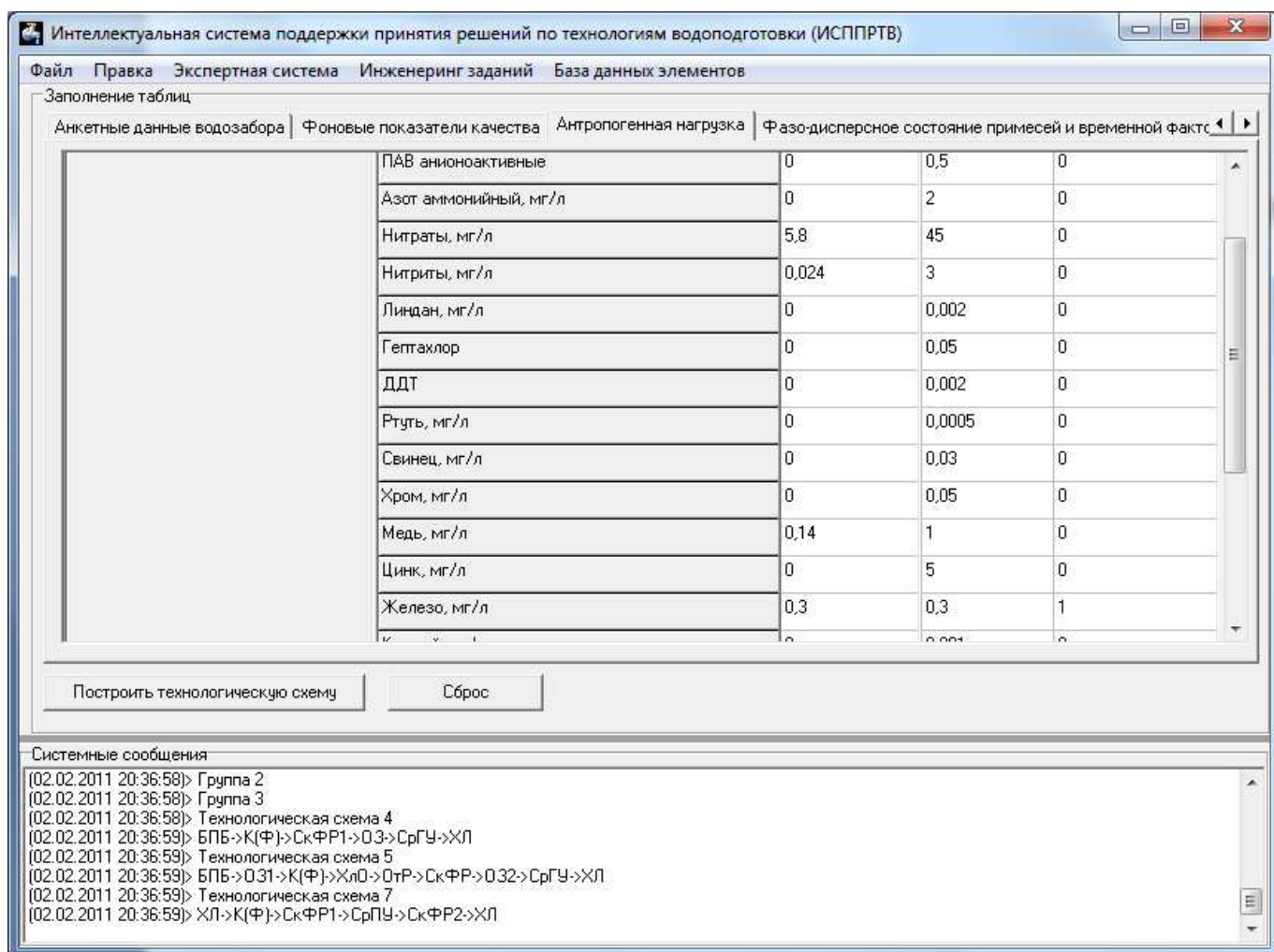


Рисунок 4.7 – Закладка «Антропогенная нагрузка»

При отсутствии данных по фазо-дисперсному состоянию примесей и антропогенному содержанию (или в случае не превышения ПДК) система выдаст сообщение о применении критерия наихудшего содержания примесей в составе анализа воды (рисунок 4.9).

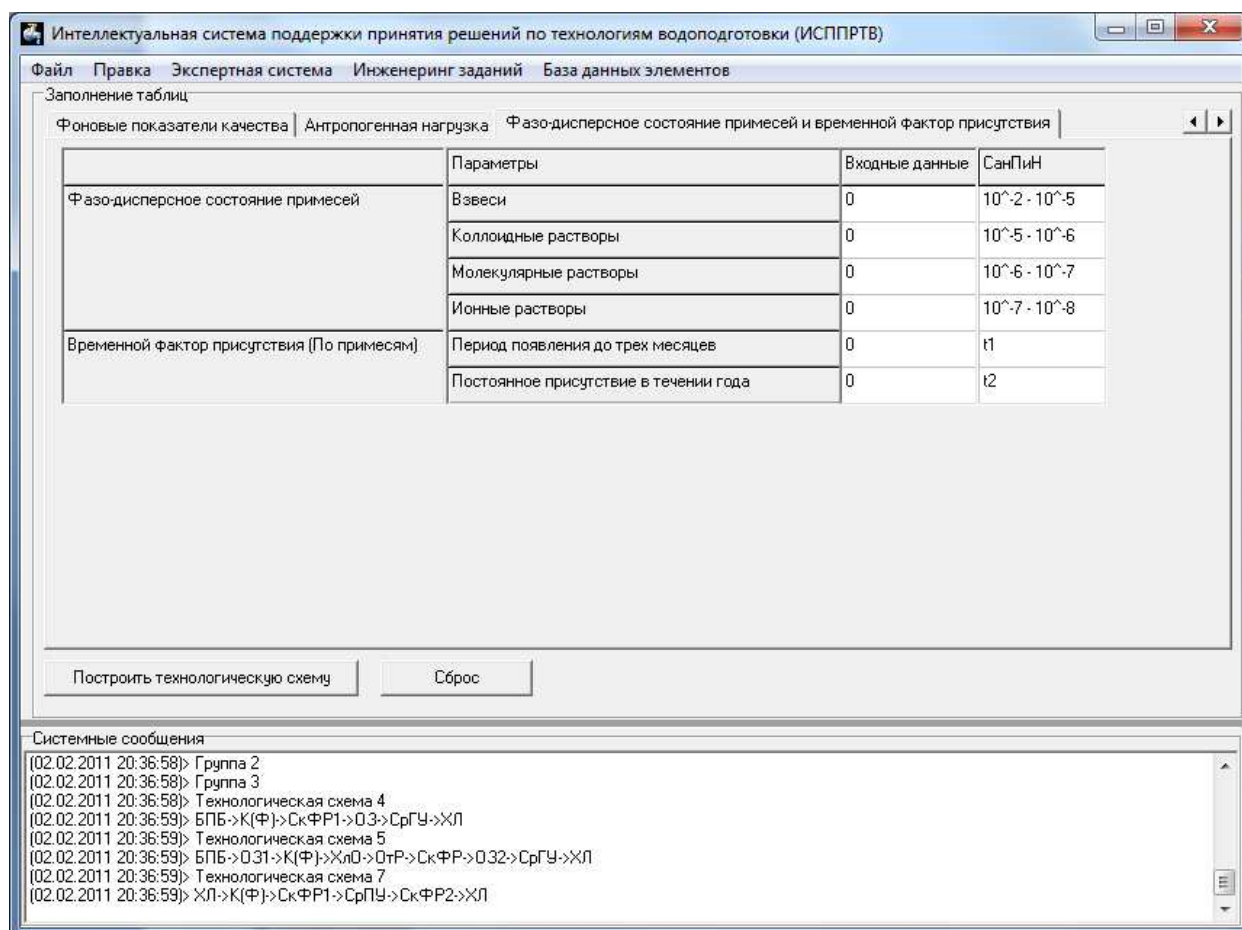


Рисунок 4.8 – Закладка «Фазо-дисперсное состояние примесей и временной фактор присутствия»

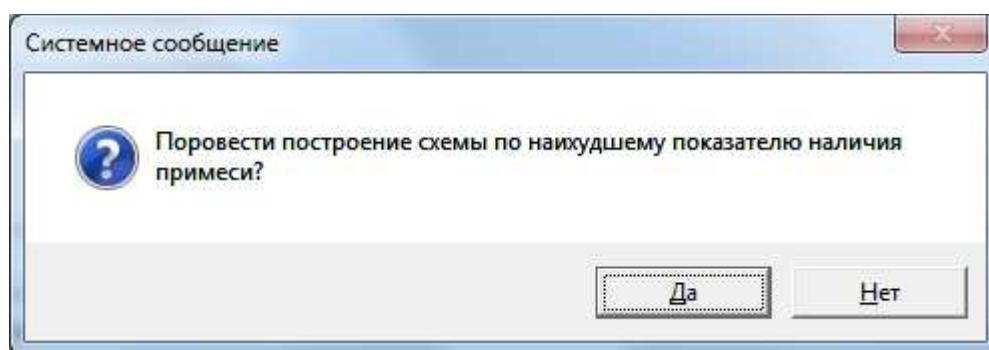


Рисунок 4.9 – Сообщение о применении критерия

При нажатии кнопки «Да» система выводит окно решений системы, в котором включены исходные данные водозабора, варианты исполнения технологических схем водоочистки и расшифровка элементов технологических схем (рисунок 4.10).

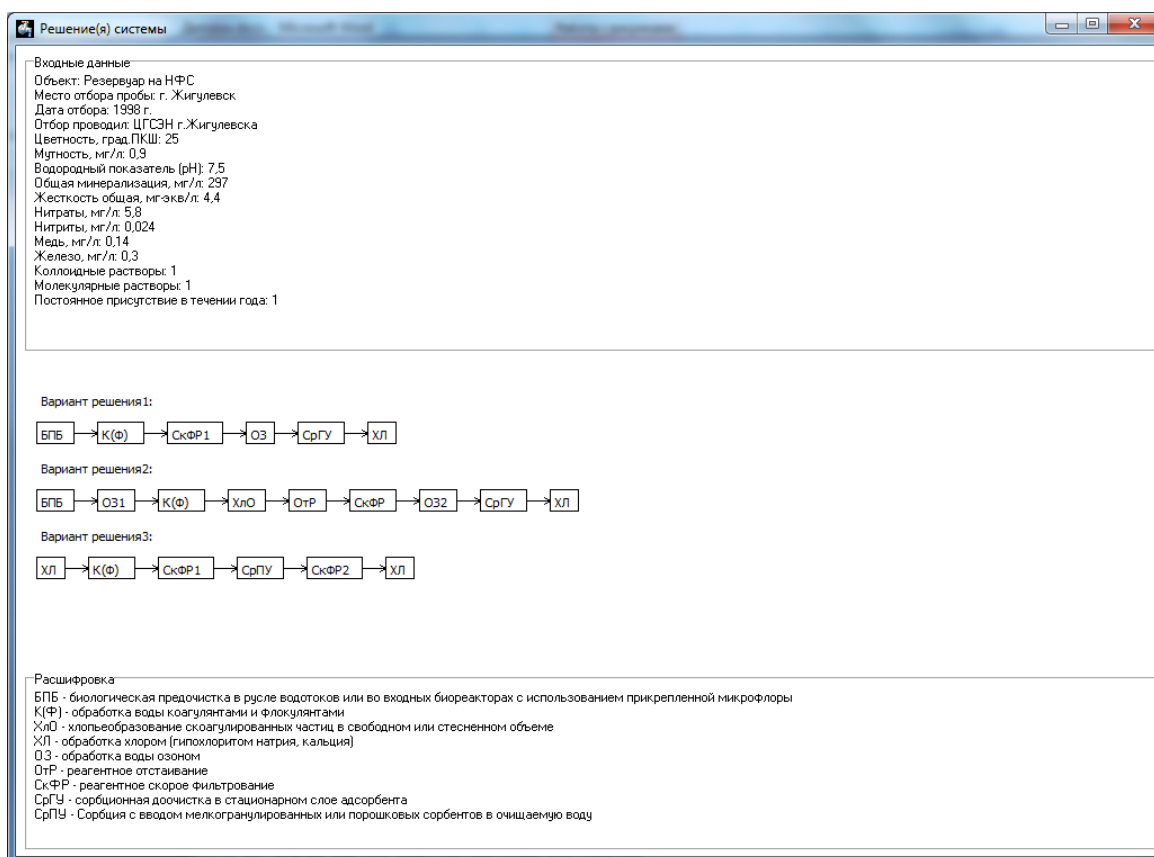


Рисунок 4.10 – Вывод решений системы

После выбора «Нового проекта» и типа источника – «Подземные воды» в рабочей области программы формируются семь закладок по вводу входных данных по составу воды.

«Анкетные данные» (рисунок 4.11) - заполняются оператором для вывода в отчет информации об объекте, содержит следующие поля:

- объект;
- место отбора пробы;
- дата отбора;
- отбор проводил.

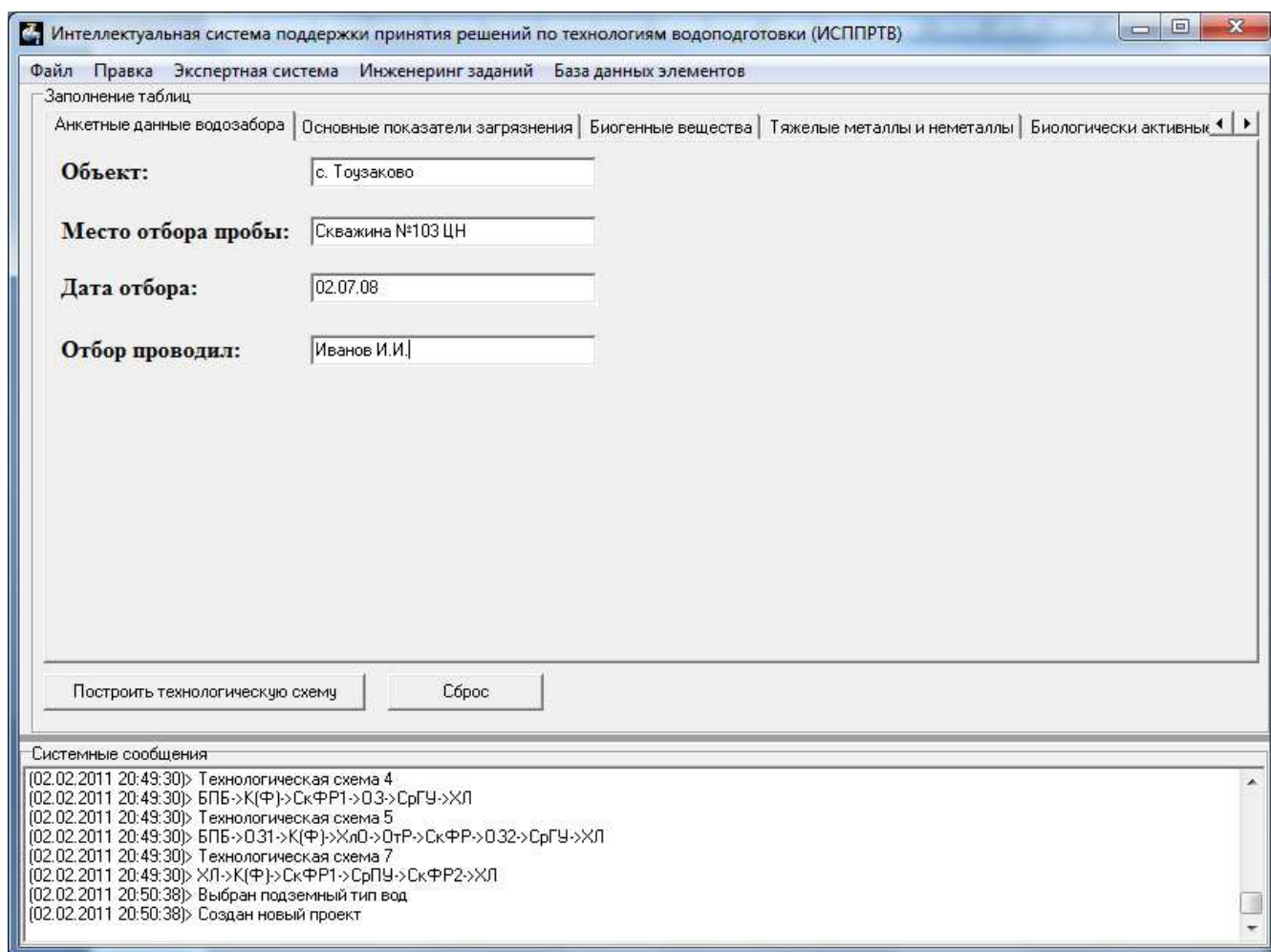


Рисунок 4.11 – Закладка «Анкетные данные»

«*Основные показатели загрязнения*» (рисунок 4.12) – заполняются поля оператором по основным показателям загрязнения воды, содержит следующие поля:

- мутность;
- цветность;
- водородный показатель;
- железо;
- марганец;
- фториды;
- перманганатная окисляемость;
- коли-индекс;
- общее микробное число;

- общая минерализация.

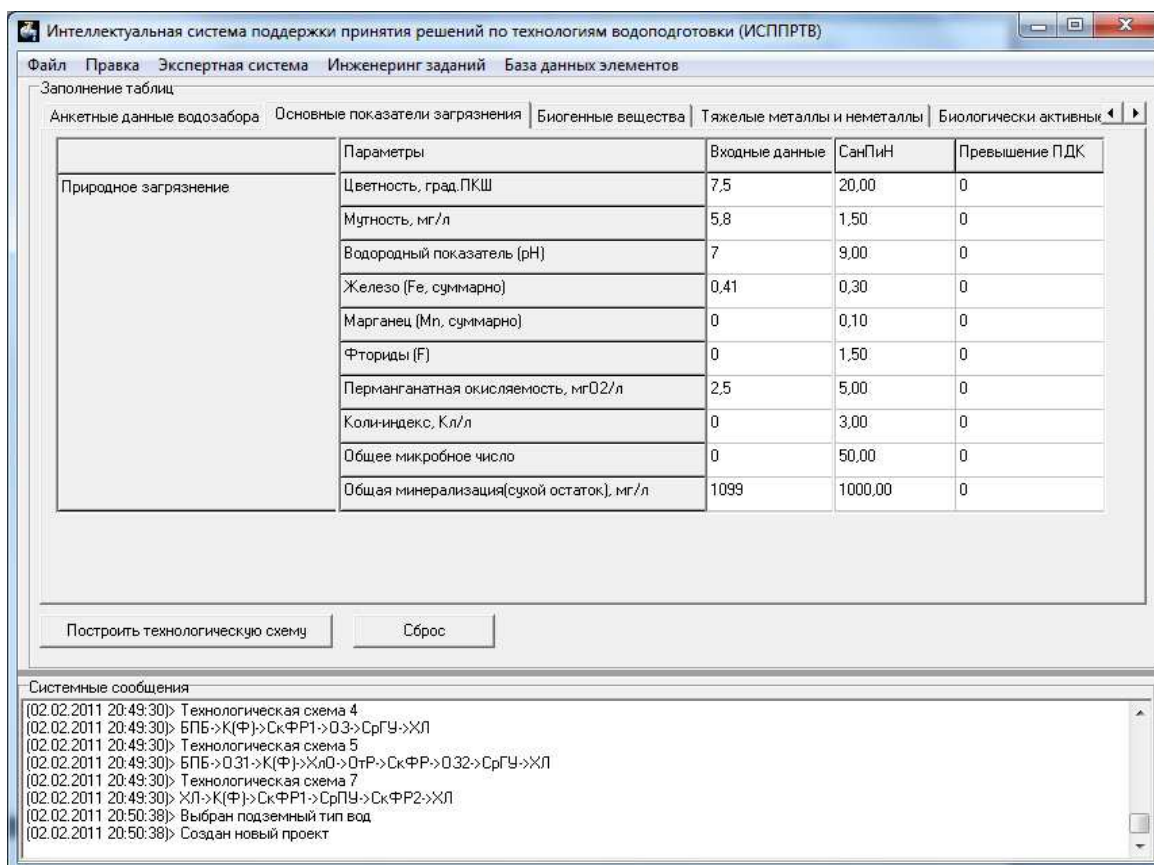


Рисунок 4.12 – Закладка «Основные показатели загрязнения»

«Биогенные вещества» (рисунок 4.13) – заполняются поля оператором по наличию в воде биогенных веществ, содержит следующие поля:

- нитраты;
- нитриты;
- аммоний;
- фосфаты.

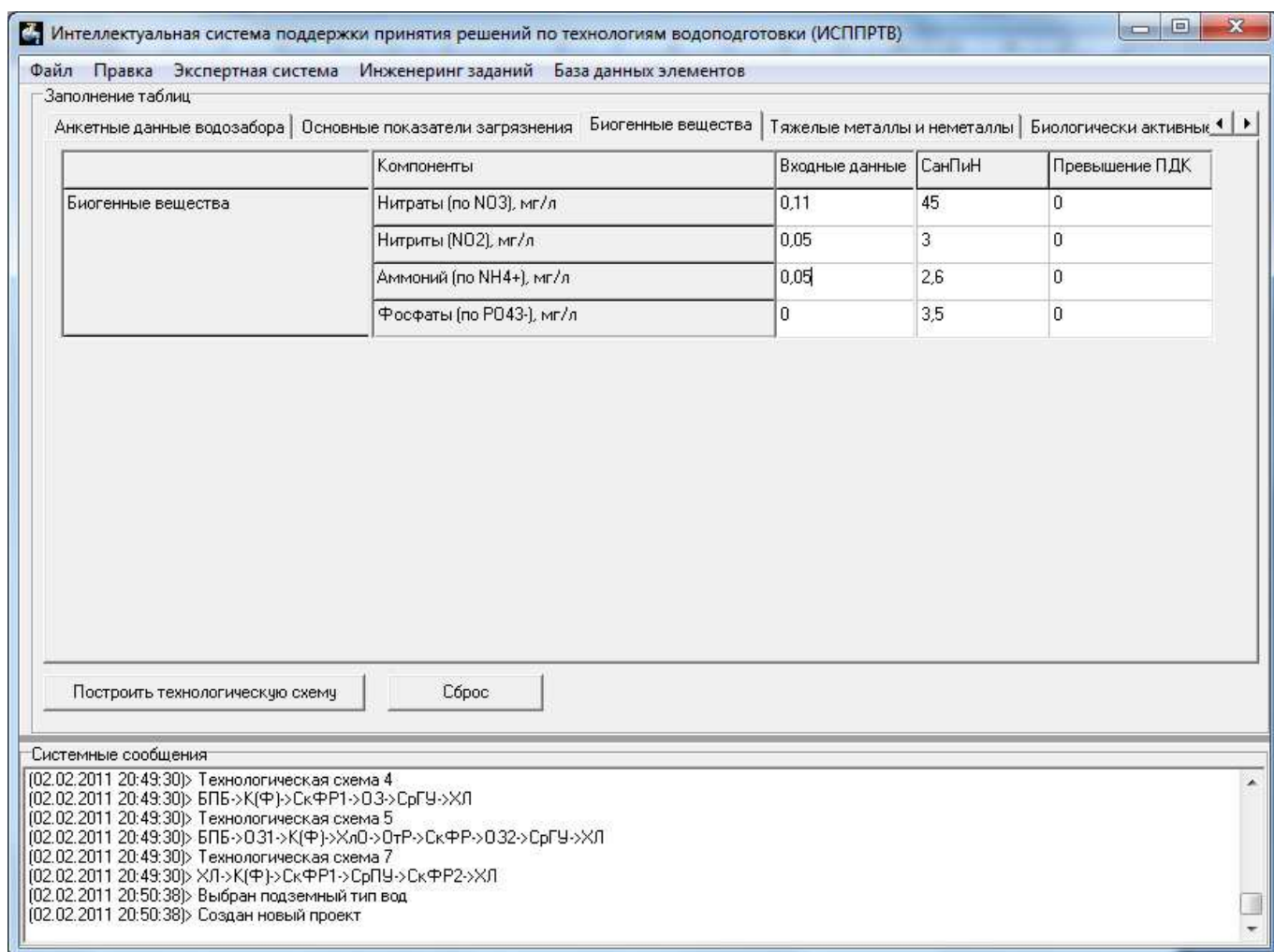


Рисунок 4.13 – Закладка «Биогенные вещества»

«Тяжелые металлы и неметаллы» (рисунок 4.14) – заполняются поля оператором по наличию в воде тяжелых металлов и неметаллов, содержит следующие поля:

- бериллий;
- ртуть;
- кадмий;
- свинец;
- молибден;
- алюминий;
- барий;
- мышьяк;
- селен;

- стронций;
- литий;
- цинк;
- медь;
- никель;
- хром;
- кремний.

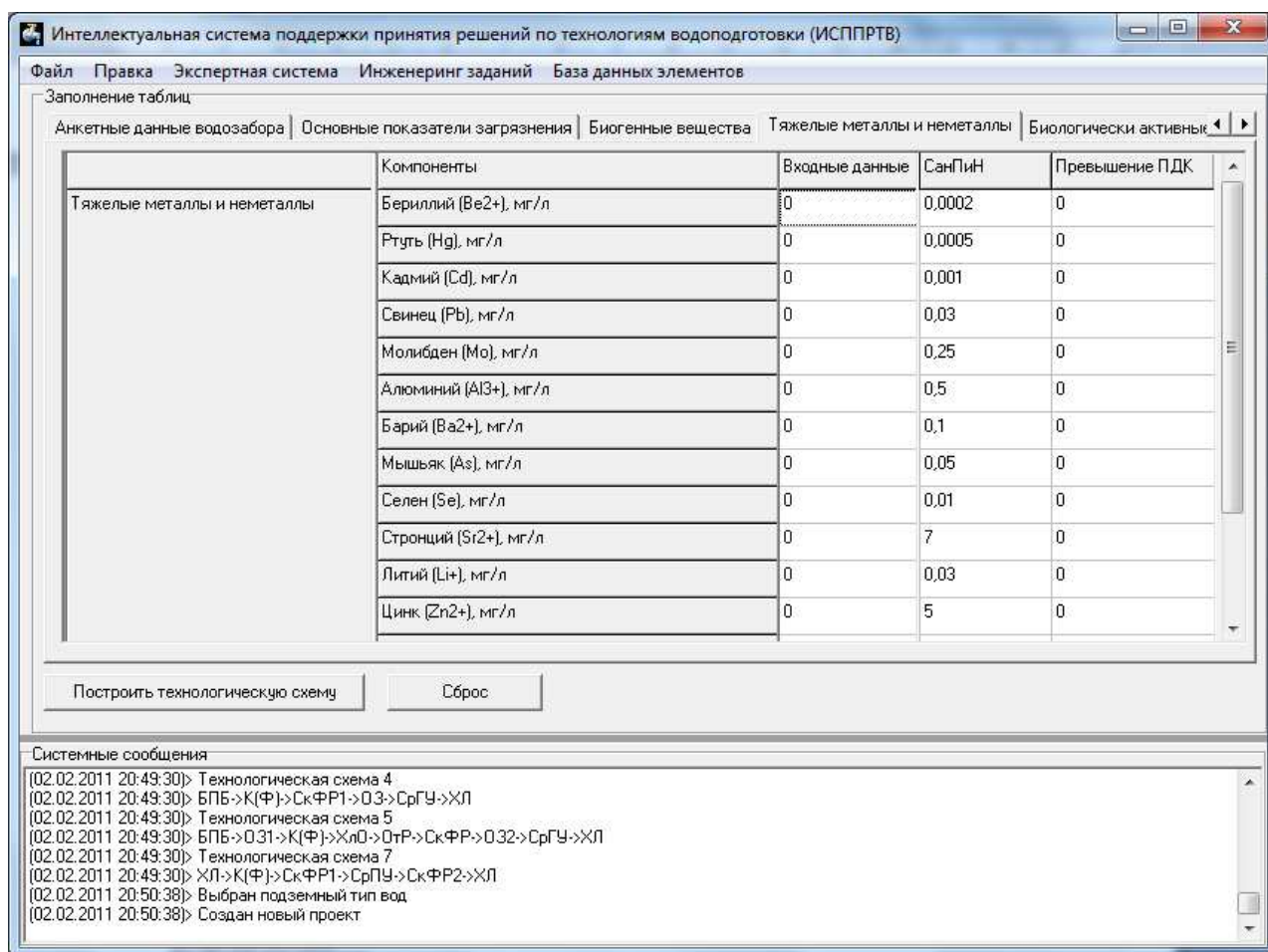


Рисунок 4.14 – Закладка «Тяжелые металлы и неметаллы»

«Биологически активные вещества и общие органические вещества» (рисунок 4.15) – заполняются поля оператором, содержит следующие поля:

- Бор;
- Бромид;
- Нефтепродукты;
- ПАВ, анионоактивные;

- Фенолы;
- м- ип- Крезолы.

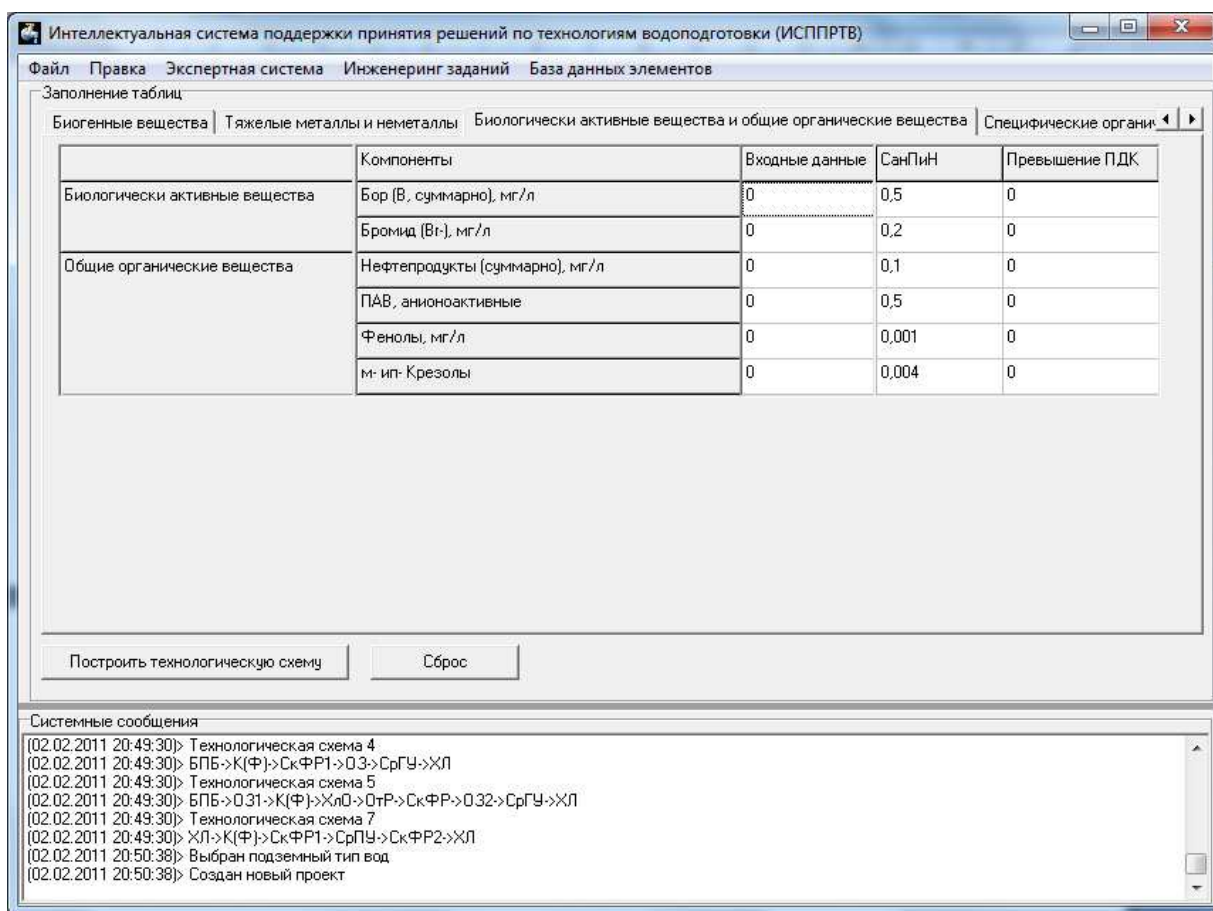


Рисунок 4.15 – Закладка «Биологически активные вещества и общие органические вещества»

«Специфические органические вещества, пестициды и ароматические углеводороды, канцерогенные вещества» (рисунок 4.16) – заполняются поля оператором, содержит следующие поля:

- хлороформ;
- четыреххлористый углерод;
- линдан γ -ГХЦГ;
- ДДТ (сумма изомеров);
- 2,4-Д;
- карбофос;
- бензол;

- ксилол;
- толуол;
- канцерогенные вещества группы 3.4-бенз(а)пирена;
- диоксины;
- формальдегид.

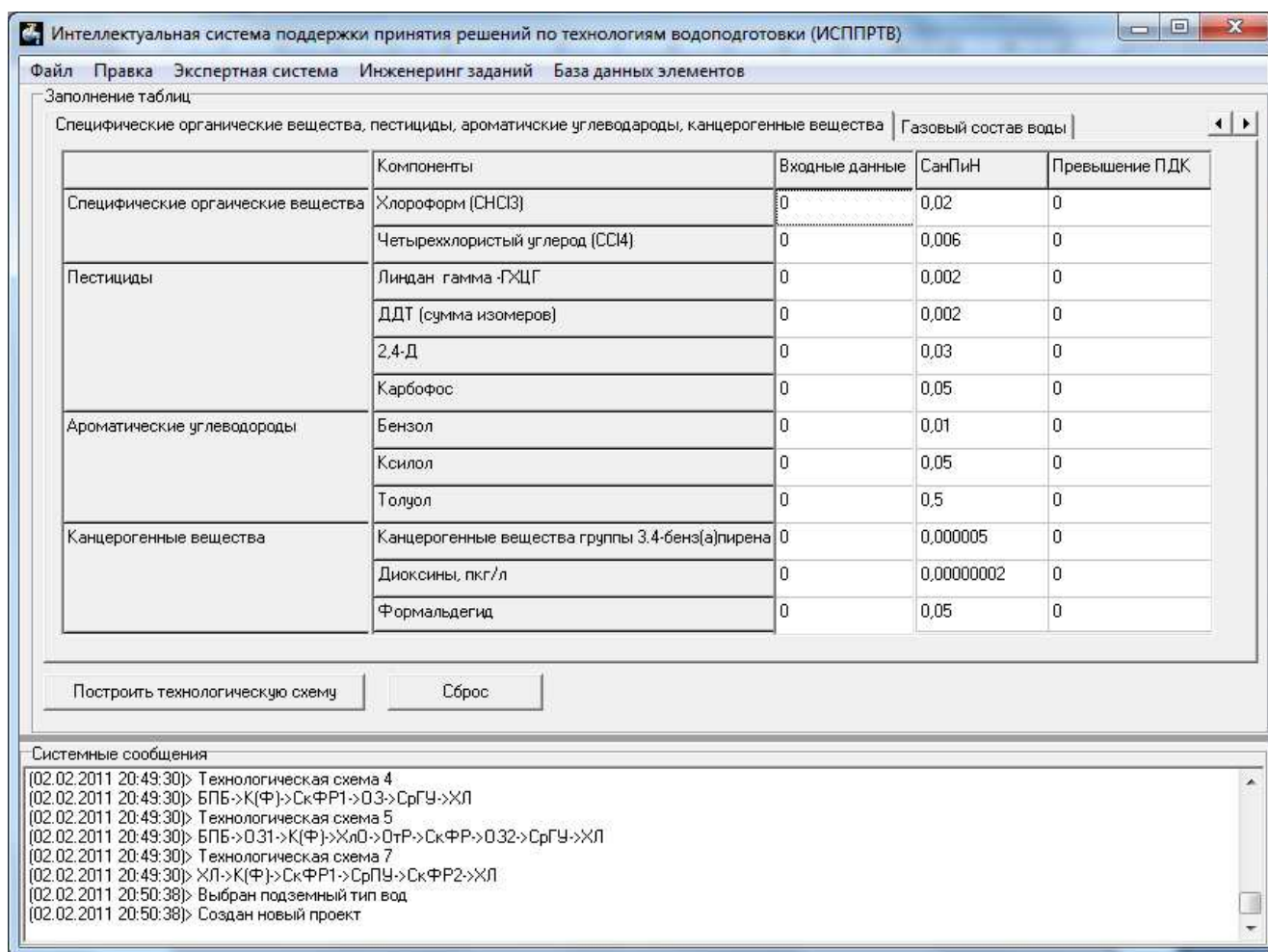


Рисунок 4.16 – Закладка «Специфические органические вещества, пестициды и ароматические углеводороды, канцерогенные вещества»

«Газовый состав» (рисунок 4.17) – заполняются поля оператором по наличию в воде растворенных газов, содержит следующие поля:

- диоксид углерода;
- метан;
- сероводород.

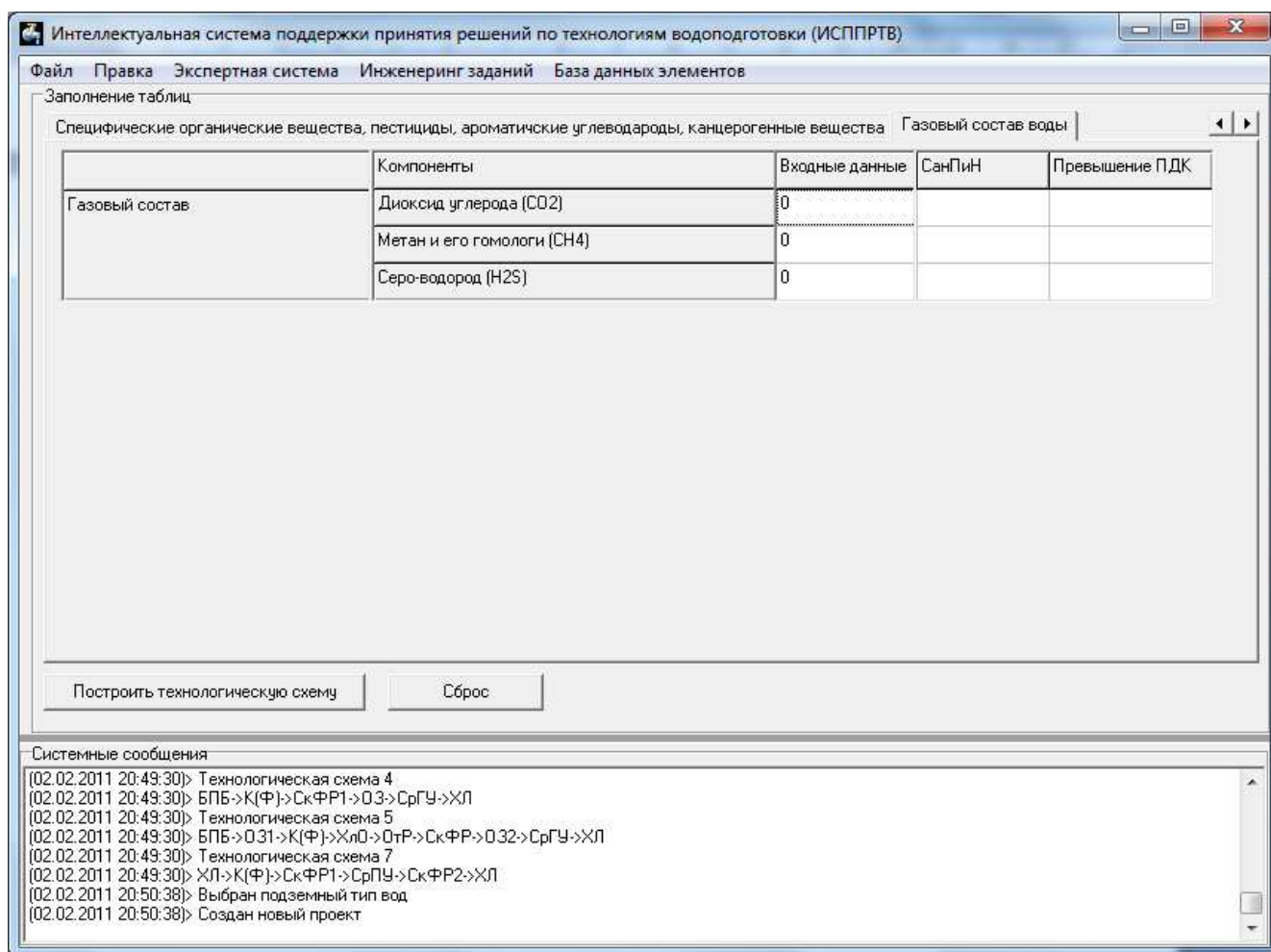


Рисунок 4.17 – Закладка «Газовый состав»

При нажатии кнопки «Построить технологическую схему» система выводит окно решений системы, в котором включены исходные данные водозабора, варианты исполнения технологических схем водоочистки и расшифровка элементов технологических схем (рисунки 4.1, 4.18).

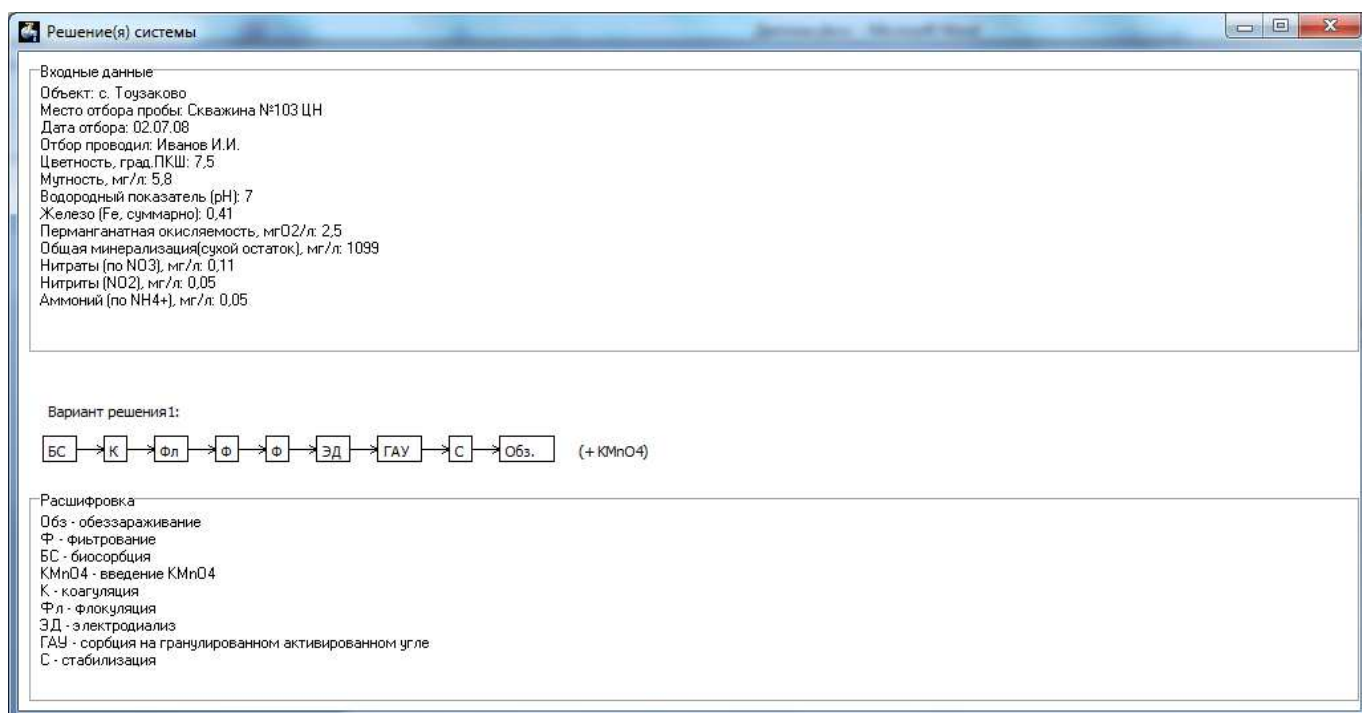


Рисунок 4.18 – Вывод решений системы

«Мастер проекта» - так же как и подменю «Новый проект» создает новый проект, но с пошаговым вводом входных данных. При выборе в меню «Файл» подменю «Мастер проекта» открывается, так же как и в «Новом проекте», окно выбора типа источника (рисунок 4.4).

Далее открываются окна пошагового заполнения, например, при выборе типа источника «Поверхностные воды» (рисунки 4.19 – 4.22). Ввод данных осуществляется двойным нажатием левой клавиши мыши в соответствующем поле ввода.

После проведения анализа или прохождения последнего шага мастера проектов входные данные доступны для редактирования в табличном режиме.

Мастер проекта - Шаг 1 - Заполнение анкетных данных водозабора

Объект:

Место отбора пробы:

Дата отбора:

Отбор проводил:

Далее

Поля ввода анкетных данных

Кнопка «Далее» - переход к следующему шагу

Рисунок 4.19 – Окно первого шага мастера проекта для поверхностного типа водозабора

Мастер проекта - Шаг 2 - Фоновые показатели качества

Цветность, град.ПКШ

Мутность, мг/л

Водородный показатель рН

Перманганатная окисляемость, мгО₂/л

Общая минерализация, мг/л

Количество клеток фитопланктона кл/мл

Жесткость общая мг-экв/л

Назад

Далее

Кнопка «Назад» - возврат к предыдущему шагу

Рисунок 4.20 – Окно второго шага мастера проекта для поверхностного типа водозабора

Мастер проекта - Шаг 3 - Антропогенная нагрузка

Нефтепродукты, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Медь, мг/л	<input type="text" value="0"/>
Фенолы, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Цинк, мг/л	<input type="text" value="0"/>
ПАВ анионоактивные	<input type="text" value="0"/>	Железо, мг/л	<input type="text" value="0"/>
Азот аммонийный, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Кадмий, мг/л	<input type="text" value="0"/>
Нитраты, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Четыреххлористый углерод	<input type="text" value="0"/>
Нитриты, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Хлороформ	<input type="text" value="0"/>
Линдан, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Диоксины, пкг/л	<input type="text" value="0"/>
Гептахлор	<input type="text" value="0"/>	Общая а-радиация, Бк/л	<input type="text" value="0"/>
ДДТ	<input type="text" value="0"/>	Общая в-радиация, Бк/л	<input type="text" value="0"/>
Ртуть, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Пестициды: хлорорганические	<input type="text" value="0"/>
Свинец, мг/л	<input type="text" value="0"/>	Пестициды: фосфорорганические	<input type="text" value="0"/>
Хром, мг/л	<input type="text" value="0"/>		

Назад Далее

Рисунок 4.21 – Окно третьего шага мастера проекта для поверхностного типа водозабора

Мастер проекта - Шаг 4 - Фазо-дисперсное состояние примесей и временной фактор присутствия

Взвеси	<input type="text" value="0"/>	Период появления до трех месяцев	<input type="text" value="0"/>
Коллоидные растворы	<input type="text" value="0"/>	Постоянное присутствие в течении года	<input type="text" value="0"/>
Молекулярные растворы	<input type="text" value="0"/>		
Ионные растворы	<input type="text" value="0"/>		

Назад Провести анализ

Кнопка проведения анализа на основе предыдущих шагов

Рисунок 4.22 – Окно четвертого шага мастера проекта для поверхностного типа водозабора

4.4 Анализ эффективности разработанных методов и алгоритмов

Применение разработанной ИСППР ТВ на основе предложенного комплекса системных моделей и алгоритмов принятия решений обеспечивает следующие преимущества при управлении целевой региональной программой водоснабжения и проектировании систем промышленного водоснабжения.

1. Сокращаются сроки проектирования и строительства систем промышленного водоснабжения предприятий и населенных пунктов.

2. Уменьшается стоимость проектных работ за счет принятия экономически обоснованных и технически реализуемых решений по технологиям водоснабжения.

3. Обеспечивается обоснованность включения объектов в целевую региональную программу для выделения бюджетных средств, что снижает риск невыполнения проектных и строительно-монтажных работ.

4. Оптимизация подбора оборудования для систем водоснабжения позволяет рационально распределять инвестиционные ресурсы между объектами водоснабжения при бюджетном и частном финансировании работ.

5. Использование программной реализации интеллектуальной системы поддержки принятия решений обеспечивает интеграцию ее в общую информационную систему управления водохозяйственным комплексом Самарской области. Это особенно важно при создании Электронного Правительства области.

Количественная оценка эффективности диссертационных исследований проводилась путем сравнения 10 проектов, выполненных с использованием ИСППР ТВ, с аналогичными проектами, реализованными в предыдущие годы. При этом выбирались проекты, у которых были близкие пробы воды из источников, что обусловило использование аналогичных схем водоподготовки. Кроме того, выбирались приблизительно равные параметры водоснабжения, в первую очередь, требуемая производительность системы водоснабжения.

Оценивались время выполнения проектно-изыскательских работ (ПИР) по системе водоснабжения и общая стоимость ПИР и строительно-монтажных работ (СМР). Результаты сравнения приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Сравнение параметров проектов, выполняемых с применением ИСППР ТВ и без ее использования

NN пп	Объекты водоснабжения, сравниваемые попарно	Производительность, м ³ /час	Проектирование с ИСППР ТВ		Проектирование без ИСППР ТВ		Уменьшение стоимости δc_i , тыс. руб	Сокращение сроков δt_i , месяц
			Стоимость c_i ПИР и СМР, тыс. руб.	Сроки t_i ПИР, месяц	Стоимость c_i^B ПИР и СМР, тыс. руб.	Сроки t_i^B ПИР, месяц		
1	ДжиЭм-АВТОВАЗ, цех окраски	22	6 100,0	10	-	-	-1 140,0	2
	Водозабор п. Максимовка	25	-	-	7 240,0	12		
2	ООО «Пиво-Люкс»	1	156,0	6	-	-	- 44,0	1
	ООО «Пит-Стоп»	1	-	-	200,0	7		
3	МПП ЖКХ Соль-Илецк	2,0	343,6	9	-	-	- 86,4	3
	СИ-2, г. Сызрань	2,5	-	-	430,0	12		
4	ЗАО Роскат, подпитка охлаждения	5,5	1 506,0	7	-	-	- 115,9	1
	ЗАО Роскат, цех N1	6	-	-	1 621,9	8		
5	ООО «Тольяттихлеб»	1	230,0	4	-	-	- 84,0	2
	ЗАО Криста N8	1	-	-	314,0	6		
6	ЖБК Тольяттинский	1,5	320,0	7	-	-	- 35,0	1,5
	ЗАО Т-стим	1,7	-	-	355,0	8,5		
7	Самарская отопительная техника	2,3	450,0	9	-	-	- 60,0	2
	ООО «Ротор»	2,4	-	-	510,0	11		
8	Самарский жиркомбинат, участок N1	3	1 810,6	9	-	-	- 114,1	3
	КС «Котельниковская»	2,5	-	-	1924,7	12		

Продолжение таблицы 4.5

NN пп	Объекты водоснабжения, сравниваемые попарно	Производительность, м ³ /час	Проектирование с ИСППР ТВ		Проектирование без ИСППР ТВ		Уменьшение стоимости δc_i , тыс. руб.	Сокращение сроков δt_i , месяц
			Стоимость c_i ПИР и СМР, тыс. руб.	Сроки t_i ПИР, месяц	Стоимость c_i^B ПИР и СМР, тыс. руб.	Сроки t_i^B ПИР, месяц		
9	Самарский жиркомбинат, участок N2	0,5	1 300,0	6	-	-	- 240,0	1,5
	Винзавод «Тольяттинский»	0,5	-	-	1540,0	7,5		
10	ООО Волга-С	2	450,0	8	-	-	- 185,0	2
	ВолгоУралТранс	2			635,0	10		

По таблице 4.5 находим среднее значение относительного уменьшения стоимости проектных работ:

$$C_{\text{ср}} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \frac{|\delta c_i|}{c_i^B} = 0,164, \quad K = 10.$$

Аналогично находим среднее значение относительного сокращения сроков проектирования:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \frac{\delta t_i}{t_i^B} = 0,202, \quad K = 10.$$

Как следует из представленной таблицы, практическое применение полученных в диссертации результатов позволило в среднем снизить стоимость проектов на 16 % и сократить время выполнения проектов на 20 %.

Выводы

1. Методика построения искусственных объектов для группы однородных систем водоснабжения дала возможность определить первоначальный диапазон размеров инвестиций в реконструкцию или строительство новых объектов.

2. С использованием разработанных алгоритмов и моделей проведено проектирование ряда систем промышленного водоснабжения. Полученные результаты подтвердили достоверность и обоснованность разработанных научных методик.

3. Практическое применение полученных в диссертации результатов при выполнении целевой региональной программы водоснабжения Самарской области позволило в среднем снизить стоимость проектов на 16 % и сократить время выполнения проектов в среднем на 20 %.

Заключение

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Проведен системный анализ водохозяйственного комплекса Самарской области, изучен жизненный цикл целевой региональной программы водоснабжения населения. На основе выполненных исследований предложена общая архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления целевой региональной программой.

2. Поставлена и решена задача системного анализа городских и муниципальных объектов водоснабжения с целью их комплексной оценки для принятия решений о включении в региональную программу. Отличительной особенностью является использование методологии DEA для оценки эффективности, а также методика построения искусственных эффективных объектов водоснабжения региональной программы для определения направления развития систем водоснабжения.

3. Разработана программная реализация интеллектуальной системы поддержки принятия решений при выполнении целевой региональной программы, построена продукционная модель для генерации альтернативных технических решений по технологиям водоснабжения на основе баз знаний о параметрах источников воды в Самарской области и номенклатуры технологического оборудования.

4. Решена задача оптимизации инвестиций на предпроектных этапах выполнения работ по объектам водоснабжения региональной программы.

5. Проведены эксперименты по управлению реализацией программных мероприятий для ряда объектов целевой региональной программы. Показано,

что использование разработанной системы уменьшило сроки проектирования по сравнению с выполнением аналогичных объектов при традиционной системе управления. Выявлено снижение затрат на проектно-изыскательские работы за счет более раннего принятия обоснованных технических решений по составу оборудования и технологии водоподготовки.

Несмотря на то, что разработанная система представляет собой целостный завершённый продукт, её функциональность может быть расширена.

Точность решения напрямую зависит от количества (и качества) входных данных водозабора. Например, обязательным является участие данных по примесям и газовому составу воды. Иначе, становится невозможным выстроить цепочку логических решений в той или иной ситуации. Здесь же нужно отметить, что базы фактов и правил обязательно должны наполняться новыми данными в течение всего времени эксплуатации ИСППР.

Дальнейшие направления развития системы поддержки принятия решений:

1. Дифференцировать поверхностные и подземные источники по загрязнениям до минимального уровня (провести классификацию источников воды по загрязнениям не только для центральной части России, но для других регионов с учетом всех возможных параметров или элементов «загрязнителей»);

2. Классифицировать не только технологические схемы водоочистки («готовые схемы» классификатора НИИ ВОДГЕО), но и их составляющие подсхемы в зависимости от наличия элемента «загрязнителя» в данных по качеству водозабора;

3. Разработать классификаторы для выявления общих и частных закономерностей построения схем в зависимости от участия того или иного параметра загрязнения (наличие или отсутствие растворенных газов, примесей и т.д.);

4. На основе выявленных закономерностей дополнить базу фактов и правил так, что бы организовать как прямой логический вывод решения (от параметров загрязнения к технологической схеме) так и обратный (от возможного участия

того или иного элемента технологической схемы в зависимости от присутствия элемента «загрязнителя»).

5. Модифицировать задачу оптимизации технологического оборудования, включив дополнительные ограничения для более точного учета влияющих факторов.

Разработанная ИСППР может быть интегрирована в информационную систему Электронного правительства Самарской области. Также, водоснабжение может быть не единственной предметной областью применения разработанной системы. При наличии квалифицированных экспертов, способных сформировать базу знаний для экспертной системы, возможно применение системы поддержки принятия решений в других предметных областях: например, для дорожного строительства или проектов здравоохранения. Этот факт говорит об общности разработанных в рамках диссертационной работы методов и алгоритмов принятия решений.

Список литературы

1. Нечаев, Д.А. Предпроектный анализ технологических схем при управлении инвестициями в региональной программе водоснабжения [Текст]/С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев//Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». - № 3(31) - 2011. – С.244-247.
2. Нечаев, Д.А. Информационно-измерительная система контроля параметров подземных водозаборов [Текст]/С.П.Орлов, Д.А.Нечаев//Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». - № 4(32) - 2011. – С.244-247.
3. Нечаев, Д.А. Комплексная оценка и классификация объектов водоснабжения регионов [Текст]/С.П.Орлов, Д.А.Нечаев//Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». - № 1(37) - 2013. – С.14-21.
4. Нечаев, Д.А. Модели анализа и принятия решений при управлении региональными программами [Текст] /С.П.Орлов, Д.А.Нечаев// Системы управления и информационные технологии.- № 2(52). – 2013. - С. 35-38.
5. Нечаев, Д.А. Модели принятия решений в управлении региональной программой водоснабжения [Текст]/Д.А.Нечаев//Вестник Волжского университета им. Татищева. - № 2(21) - 2013. – С.4-8.
6. Нечаев, Д.А. Разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решений в области водоподготовки и водоочистки природных вод [Текст]/С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев//Труды восьмой Всероссийской межвузовской научно–практической конференции «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании». – Самара: СамГТУ. – 2009. – С.194-197.
7. Нечаев, Д.А. Разработка экспертной системы в составе интеллектуальной системы поддержки принятия решений в области водоподготовки и водоочистки природных вод/С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев// Современные наукоемкие технологии. - №5. - 2010. - С. 44-52
8. Нечаев, Д.А. Система поддержки принятия решений для управления региональной программой водообеспечения [Текст]/С.П.Орлов, А.Г.Мережко, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев, Е.А.Михеева//Труды Международной научной

конференции «Мягкие вычисления и измерения «SCM 2010». - СПб, Издательство СПб ГТЭУ «ЛЭТИ». – Том 2. - 2010. - С. 84-87.

9. Нечаев, Д.А. Экспертная система поиска оптимального состава технологических схем водоочистных сооружений [Текст] /С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев// Труды девятой Всероссийской межвузовской научно–практической конференции «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании». – Самара: СамГТУ. – 2010. – С.199-202.

10.Нечаев, Д.А. Модель представления знаний в экспертной системе поиска оптимального состава технологических схем водоочистных сооружений [Текст]/С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев// Труды девятой Всероссийской межвузовской научно–практической конференции «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании». – Самара: СамГТУ. – 2010. – С.203-206.

11.Нечаев, Д.А. Оптимизация графа логического вывода в экспертной системе поиска оптимального состава технологических схем водоподготовки [Текст] /Д.А.Нечаев//Труды одиннадцатой Международной межвузовской научно–практической конференции «Компьютерные технологии в науке, практике и образовании». – Самара: СамГТУ. – 2012. – С.45-47.

12.Нечаев, Д.А. Системные модели анализа и принятия решений при управлении региональными инвестиционными целевыми программами [Текст]/С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев// Научно-аналитический журнал "Научный обозреватель". – 2013. - № 9 (33). - С. 54-58.

13.Нечаев, Д.А. Модели комплексной оценки объектов областных целевых программ [Текст]/С.П.Орлов, Д.А.Нечаев//Труды Международной научной конференции «Мягкие вычисления и измерения «SCM 2013». - СПб, Издательство СПб ГТЭУ «ЛЭТИ». – Том 2. - 2013. - С. 117-120.

14.Нечаев, Д.А. Задача распределения ресурсов при выполнении региональных проектов/Д.А. Нечаев, С.П. Орлов//Труды 71-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР 2013 года «Традиции и инновации в строительстве и архитектуре». – Самара: СГАСУ. - 2014. – С. 979 - 982

15. Нечаев, Д.А. Система поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки/С.П.Орлов, А.В.Чуваков, Д.А.Нечаев//Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013613152 от 26.03.2013 г., Роспатент.

16. Нечаев, Д.А. Оптимизация состава технологического оборудования систем промышленного водоснабжения [Текст]/Д.А.Нечаев, С.П.Орлов//Вестник СамГТУ. Сер. «Технические науки». - № 2(42) - 2014. – С.19-24.

17. Бурков, В.Н. Введение в теорию управления организационными системами/ В.Н.Бурков, Н.А. Коргин , Д.А.Новиков / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.

18. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами /Д.А.Новиков М.: МПСИ, 2005. – 584 с.

19. Бурков, В. Н. Основы математической теории активных систем /В.Н.Бурков – М.: Наука, 1977. – 255 с.

20. Бурков, В. Н. Механизмы функционирования организационных систем /В.Н. Бурков, В.В.Кондратьев. – М.: Наука, 1981. – 384 с.

21. Бурков, В. Н. Как управлять организациями/В.Н.Бурков, Д.А.Новиков. – М.: Синтег, 2004. – 400 с.

22. Бурков, В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы /В.Н.Бурков, Д.А.Новиков. – М.: СИНТЕГ, 1999. – 128 с.

23. Гермейер, Ю. Б. Игры с непротивоположными интересами/Ю.Б. Гермейер. – М.: Наука, 1976. – 327 с.

24. Горелик, В. А., Анализ конфликтных ситуаций в системах управления /В.А.Горелик, М.А. Горелов, А.Ф. Кононенко. – М.: Радио и связь, 1991. – 288 с.

25. Кукушкин, Н. С. Теория неантагонистических игр /Н.С.Кукушкин, В.В.Морозов. – М.: МГУ, 1984. – 104 с.

26. Новиков, Д. А. Стимулирование в социально-экономических системах (базовые математические модели) /Д.А.Новиков. – М.: ИПУ РАН, 1998. – 216 с.

27. Новиков, Д. А. Курс теории активных систем /Д.А.Новиков, С.Н.Петраков. – М.: Синтег, 1999. – 108 с.

28. Mas-Colell A., Whinston M. D., Green J. R. Micro-economic theory. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 1995. – 981 p.

29. Bolton P., Dewatripont M. Contract Theory. – Cambridge and London: MIT Press, 2005.

30. Леднев А.М. Метод управления проектными заданиями в матричной структуре вертикально-интегрированной нефтяной компании на основе сетевого взаимодействия/ Дис. канд. техн. наук: 05.13.01/ А.М. Леднёв; Самарский государственный технический университет – Самара, 2013. – 167 с.

31. Орлов, С.П. Применение модели P2P аутсорсинга в в задачах управления проектами на предприятии нефтегазовой отрасли/С.П.Орлов, А.М.Леднев, А.В.Иващенко//Вестник Волжского университета им. Татищева. №5 (21). -2013. – С.5-10.

32. Виттих В.А., Ржевский Г. А., Скобелев П.О. Мультиагентные модели взаимодействия в процессах принятия решений/В.А.Виттих, Г.А.Ржевский, П.О.Скобелев // Тр. 4 Междунар. конф. по пробл. упр. и моделир. сложн. систем. Самара. -17-24 июня 2002 - Самара: СНЦ РАН, 2002. - С.116-126.

33. Скобелев, П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений / Дис. докт. техн. наук: 05.13.01/ П.О. Скобелев; Самарский государственный технический университет – Самара, 2003. – 418 с.

34. Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов.— Москва : УРСС, 2002.

35. Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине/Н.Винер. - М.: Наука, 1983.

36. Маслобоев, А.В. Модели и алгоритмы взаимодействия программных агентов в виртуальной бизнес-среде развития инноваций/А.В.Маслобоев // Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета.– 2009. – Т. 12, №2. - Мурманск: МГТУ, 2009. – С. 224-234.

37. Кузнецов, А.Л. Метод ДЕА для изучения эффективности контейнерных терминалов/А.Л.Кузнецов, Е.Ю.Козлова//Информационно-аналитический журнал «Морской флот», №4, 2007 г. - С.52-55.

38. Посашков, М.В. Многокритериальное оценивание и направления повышения системной энергетической эффективности теплоснабжения от автономных энергоисточников / Дис. канд. техн. наук: 05.13.01/ М.В.Посашков; Самарский государственный технический университет. – Самара, 2011. – 150 с.

39. The Measurement of Productive Efficiency / H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt, eds.– NY: Oxford University Press, 1993.– 426 pp.

40. Coelli, T. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis / T. Coelli, D.S. Prasada Rao, G.E. Battese.– Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998.– 275 pp.

41. Cooper, W.W. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W.W. Cooper, L.M. Seiford, K. Tone.– Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000.– 318 pp.

42. Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application / A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Lewin, L.M. Seiford.– Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.– 513 pp.

43. Fare, R. Production Frontiers / R. Fare, S. Grosskopf, C.A. Knox Lovell.– Cambridge: Cambridge University Press, 1994.– 296 pp.

44. Гранберг, А.Г. Моделирование социалистической экономики: Учеб. для студ. экон. вузов / А.Г. Гранберг.– М.: Экономика, 1988.– 487 с.

45. Замков, О.О. Математические методы в экономике: Учебник / О.О. Замков, А.В. Толстопятенко, Ю.Н. Черемных.– 2-е изд.– М: МГУ им. М.В. Ломоносова: Издательство "Дело и Сервис", 1999.– 368 с.

46. Лопатников, Л.И. Экономико-математический словарь: Словарь современной экономической науки / Л.И. Лопатников.– 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Дело, 2003.– 520 с.

47. Лотов, А.В. Введение в экономико-математическое моделирование / А.В. Лотов.– М.: Наука, 1984.– 392 с.

48. Сио, К.К. Управленческая экономика: Пер. с англ. / К.К. Сио.– М: ИНФРА-М, 2000.– 671 с.

49. Afriat, S.N. Efficiency Estimation of Production Functions / S.N. Afriat // International Economic Review.– 1972, October.– Vol. 13, No. 3.– Pp. 568–598.

50. Aigner, D.J. On Estimating the Industry Production Function / D.J. Aigner, S.F. Chu // The American Economic Review.– 1968.– Vol. 58.– Pp. 826–839.

51. Интрилигатор, М. Математические методы оптимизации и экономическая теория: Пер. с англ. / М. Интрилигатор.– М.: Айрис-пресс, 2002.– 576 с.

52. Кузнецов, А.В. Высшая математика: Математическое программирование: Учебник / А.В. Кузнецов, В.А. Сакович, Н.И. Холод; Под общ. ред. А.В. Кузнецова.– 2-е изд., перераб. и доп.– Мн.: Вышэйшая школа, 2001.– 351 с.

53. Таха, Х. Введение в исследование операций: 6-е издание: Пер. с англ. / Х. Таха.– М: Издательский дом "Вильямс", 2001.– 912 с.

54. Фролькис, В.А. Введение в теорию и методы оптимизации для экономистов / В.А. Фролькис.– 2-е изд.– СПб: Питер, 2002.– 320 с.

55. Прокопчина, С. В. Концепция байесовской интеллектуализации измерений в задачах мониторинга сложных объектов / С.В.Прокопчина // Новости искусственного интеллекта. -1997.- №3.-С.7-56.

56. Прокопчина, С.В., Федичкин А.И. Прогнозирование характеристик сложных объектов на основе Байесовских Интеллектуальных Технологий/С.В.Прокопчина, А.И.Федичкин//Сб. докладов Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям "SCM-2006", Санкт-Петербург, 27-29 июня 2006.- Т.2.

57. Прокопчина, С.В. Принципы создания развивающихся информационных технологий на основе регуляризирующего байесовского подхода./С.В.Прокопчина//Сб. докладов Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям "SCM-2005", Санкт-Петербург, 27-29 июня 2005.- Т.1.

58. Прокопчина, С.В. Интеллектуальные сети энергетики и ЖКХ на основе регуляризирующего байесовского подхода/С.В.Прокопчина//Технико-технологические проблемы сервиса. № 4(26). – 2013. - С.99-102.

59. Ветров, В.Н. Применение байесовских интеллектуальных технологий для организации обслуживания водопроводных сетей/В.Н.Ветров, С.В.Прокопчина, О.А.Нагульнов // Техничко-технологические проблемы сервиса. -№ 4(26). – 2013. - С.103-107.

60.Прокопчина, С.В. Управление проектами в условиях неопределенности на основе регуляризирующего байесовского подхода/С.В.Прокопчина //Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM 2006, Санкт-Петербург, 27-29 июня.- 2006.-Т.1.-С. 36-50.

61.Звягин, Л.С. Система поддержки принятия управленческих решений на основе байесовских интеллектуальных технологий (БИТ)/Л.С. Звягин //Молодой ученый. – 2011. -№ 12. Т.1. – С.151-154.

62.Прокопчина, С. В. Байесовские интеллектуальные технологии для аудита и управления сложными объектами в условиях значительной неопределенности// Сборник докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM 2002, Санкт-Петербург, 25-27 июня. – 2002.-Т.1.-С. 27.

63.Гилев, С.Е. Распределенные системы принятия решений в управлении региональным развитием / С.Е. Гилев, С.В. Леонтьев, Д.А. Новиков. - М.: ИПУ РАН, 2002. - 52 с.

64.Ramanathan, R. An Introduction to Data Envelopment Analysis. A Tool for Performance Measurement. Sage Publications, 2003. - P. 25.

65.Charnes, A. Programming with Linear Fractional Functionals/ A.Charnes, W.W. Cooper//Naval Research Logistic Quarterly. – 1962. – Vol.9, № 3,4. – P.181-196.

66.Моргунов, Е.П. Многомерная классификация на основе аналитического метода оценки эффективности сложных систем/ Дис. канд. техн. наук: 05.13.01/ Е.П.Моргунов; НИИ систем управления, волновых процессов и технологий. – Красноярск, 2003. – 160 с.

67.Орлов, С.П. Системный анализ и информационные технологии при проектировании и строительстве территориальных комплексов

водоснабжения/С.П.Орлов, А.В. Чуваков, А.Г.Мережко// Известия СНЦ РАН. Т.11(27). № 5(2). -2009. - С.316-319.

68.Журба, М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: издание второе, переработанное и дополненное/Г.М. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. - М.: Издательство АСВ, 2004. – С. 495.

69.Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research.–1978.– Vol. 2.– Pp. 429–444.

70.Farrell, M.J. The Measurement of Productive Efficiency / M.J. Farrell // Journal of The Royal Statistical Society, Series A (General), Part III.– 1957.– Vol. 120.– Pp. 253–281.

71.Ahn T. Some Statistical and DEA Evaluations of Relative Efficiencies of Public and Private Institutions of Higher Learning / T. Ahn, A. Charnes, W.W. Cooper// Socio-Econ. Plann. Sci.– 1988.– Vol. 22, No. 6.– Pp. 259–269.

72.Burges, J.F., jr. Technical Efficiency in Veterans Administration Hospitals / J.F. Burges, jr., P.W. Wilson // The Measurement of Productive Efficiency / H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt, eds.– NY: Oxford University Press, 1993.– Pp. 335–351.

73.Charnes, A. Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through / A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes // Management Science.– 1981, June.– Vol. 27, No. 6.– Pp. 668–688.

74.Colbert, A. Determining the Relative Efficiency of MBA Programs Using DEA / A. Colbert, R.R. Levary, M.C. Shaner // European Journal of Operational Research.– 2000.– Vol. 125.– Pp. 656–669.

75.Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century: Proceedings of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia) / Institute for Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company.– Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002.– 178 pp.

76.Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century: Abstracts of International DEA Symposium (24–26 June 2002, Moscow, Russia) / Institute for

Systems Analysis of Russian Academy of Sciences; Global S. Consulting Company.– Moscow: International Research Institute of Management Sciences, 2002.– 92 pp.

77.Fare, R. Measuring the Technical Efficiency of Production / R. Fare, C.A. Knox Lovell // *Journal of Economic Theory*.– 1978.– Vol. 19.– Pp. 150–162.

78.Hollingsworth, B. Efficiency Measurement of Health Care: A Review of Non-parametric Methods and Applications / B. Hollingsworth, P.J. Dawson, N. Maniadakis // *Health Care Management Science*.– 1999.– Vol. 2.– Pp. 161–172.

79.Hollingsworth, B. The Efficiency of Scottish Acute Hospitals: An Application of Data Envelopment Analysis / B. Hollingsworth, D. Parkin // *Institute of Mathematics and its Applications Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology*.– 1995.– Vol. 12.– Pp. 161–173.

80.Kittelsen, S.A.C. Efficiency Analysis of Norwegian District Courts / S.A.C. Kittelsen, F.R. Forsund // *The Journal of Productivity Analysis*.– 1992.– Vol. 3.– Pp. 277–306.

81.Kumbhakar, S.C. Technical Efficiency and Technical Progress in Swedish Dairy Farms / S.C. Kumbhakar, L. Hjalmarsson // *The Measurement of Productive Efficiency* / H.O. Fried, C.A.K. Lovell, S.S. Schmidt, eds.– NY: Oxford University Press, 1993.– Pp. 256–270.

82.Maniadakis, N. The Impact of the Internal Market on Hospital Efficiency, Productivity and Service Quality / N. Maniadakis, B. Hollingsworth, E. Thanassoulis // *Health Care Management Science*.– 1999.– Vol. 2.– Pp. 75–85.

83.Parkin, D. Measuring Production Efficiency of Acute Hospitals in Scotland, 1991-94: Validity Issues in Data Envelopment Analysis / D. Parkin, B. Hollingsworth // *Applied Economics*.– 1997.– Vol. 29.– Pp. 1425–1433.

84.Ruggiero, J. Cost Efficiency in the Provision of Educational Services: An Application of Data Envelopment Analysis / J. Ruggiero // *Journal of Cost Analysis*.– Fall 1998.– Pp. 53–71.

85.R.Sexton, T.R. The Impact of Prospective Reimbursement on Nursing Home Efficiency / T. R. Sexton, A.M. Leiken, S. Sleeper, A.F. Coburn // *Medical Care*.– 1989, February.– Vol. 27, No. 2.– Pp. 154–163.

86.Sexton, T.R. Evaluating Managerial Efficiency of Veterans Administration Medical Centers Using Data Envelopment Analysis / T.R. Sexton, A.M. Leiken, A.H. Nolan, et al. // Medical Care.– 1989, December.– Vol. 27, No. 12.– Pp. 1175–1188.

87.Sinuany-Stern, Z. Academic Departments Efficiency via DEA / Z. Sinuany-Stern, A. Mehrez, A. Barboy // Computers Ops Res.– 1994.– Vol. 21, No. 5.– Pp. 543–556.

88.Banker, R.D. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis / R.D. Banker, A. Charnes, W.W. Cooper // Management Science.– 1984, September.– Vol. 30, No. 9.– Pp. 1078–1092.

89.Blackorby, C. Aggregation of Efficiency Indices / C. Blackorby, R. R. Russell // Journal of Productivity Analysis.– 1999.– Vol. 12.– Pp. 5–20.

90.Bowlin W.F. Measuring Performance: An Introduction to Data Envelopment Analysis (DEA) / W.F. Bowlin // Journal of Cost Analysis.– Fall 1998.– Pp. 3– 27.

91.Russell, R. R. Measures of Technical Efficiency / R. R. Russell // Journal of Economic Theory.– 1985.– Vol. 35.– Pp. 109–126.

92.Yu, G. Construction of All DEA Efficient Surfaces of the Production Possibility Set Under the Generalized Data Envelopment Analysis Model / G. Yu, Q. Wei, P. Brockett, L. Zhou // European Journal of Operational Research.– 1996.– Vol. 95.– Pp. 491–510.

93.Анализ эффективности функционирования сложных систем / В.Е. Кривоножко, А.И. Пропой, Р.В. Сеньков, И.В. Родченков, П.М. Анохин // Автоматизация проектирования.– 1999.– № 1.– С. 2–7.

94.Выгон, Г.В. Анализ связи технологической эффективности и рыночной капитализации компаний / Г.В. Выгон, А.Б. Поманский // Экономика и математические методы.– 2000.– Т. 36, № 2.– С. 70–87.

95.Моргунов, Е.П. Граничные методы определения эффективности функционирования предприятий / Е.П. Моргунов // Информатика и системы управления: Межвузовский сборник научных трудов / Отв. редактор Б.П. Соустин.–Красноярск: НИИ ИПУ, 2000.– С. 204–209.

- 96.Sowlati, T. Establishing the “Practical Frontier” in DEA: Ph.D. dissertation. – University of Toronto. Canada, 2001.
- 97.Banker, R. D. Same models of estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis/R.D. Banker, A. Charnes, W.W. Cooper//Management science. – 1984. - 30(9). –P.1078-1092.
- 98.Санитарные правила и нормы СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. - Москва, 2002.
- 99.Мальцев, А.И. Алгебраические системы / А.И. Мальцев. - М.: Наука, 1970. - 392 с.
100. Рыбаков, А.А. Автоматизированное проектирование экспертных систем для защиты информации в локальных вычислительных сетях/ Дис. канд. техн. наук: 05.13.12, 05.13.13/ А.А.Рыбаков; Рязанская радиотехническая академия. – Рязань, 2004. – 196 с.
101. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам: Пер. с англ / Д. Уотермен. - М.: Мир, 1989. - 388 с. – ISBN 5-03-001119-6.
102. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб.: Питер, 2000. - 220 с. – ISBN 5-272-00071-4.
103. Зыков, А.А. Теория конечных графов / А.А. Зыков. - Новосибирск: Наука, 1969. - 206 с.
104. Бурков, В.Н. Теория графов в управлении организационными системами / В.Н. Бурков, А.Ю.Заложнев, Д.А. Новиков. - М.: Синтез, 2002. - 124 с. – ISBN 5-89502-766-0.
105. Гаврилова, Т. А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т. А. Гаврилова, К. Р. Червинская.- М.: Радио и связь, 1992.- 200с. – ISBN 5-256-00301-1.
106. Simon H. The Structure of Ill-structured Problems // Artificial Intelligence. - 1973, - V. 4. - P. 181- 202.
107. Построение экспертных систем / Под ред. Ф. Хейес-Рота, Д. Уотермена, Д. Лената. - М.: Мир, 1987-С. 434.

108. Вассерман, Л.И. Психологическая диагностика и новые информационные технологии / Л.И. Вассерман, В.А. Дюк, Б.В. Иовлев, К.Р.Червинская. - СПб.: ООО «СЛП»,. 1997.-G. 203. – ISBN 5-85091-023-8.

109. Журба, М.Г. Классификаторы технологий очистки природных вод / М.Г. Журба. – М., 2000. – 118 с.

110. Внедрение новых технологий и оборудования водоподготовки и очистки для подземных и поверхностных источников: Отчет по НИР; рук. В.С.Семенов/Самар. гос. техн. ун-т, 2009. №ГР 01200710847. – 359 с.

111. Создание единой концепции водопользования в Самарской области: отчет о НИР; рук. С.П.Орлов/ ОАО «Институт Средволгогипроводхоз», 2008. № ГР 01200712716. – 112 с.

112. Государственный кадастр качества водопроводной воды Самарской области. ГК-10/97 (63:01-37). – Самара, ОАО «Институт Средволгогипроводхоз», 1997.

113. Хасаев Г.Р. Минерально-сырьевая база Самарской области: состояние и перспективы развития/ Г.Р.Хасаев, В.К.Емельянов, А.Л.Кареев . Самара: Изд. дом «Агни», 2006. – 216 с.

114. Численность населения муниципальных образований Самарской области (по состоянию на 1 января 2005 года в границах, устанавливаемых с 1 января 2006 года): Территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Самарской области (САМАРАСТАТ). – Самара, 2005. – 53 с.

115. Областная целевая программа «Обеспечение населения Самарской области питьевой водой» на 2005-2010 годы». Закон Самарской области от 28 декабря 2004 года № 177-ГД «Об утверждении областной целевой программы «Обеспечение населения Самарской области питьевой водой» на 2005-2010 годы».

116. Подиновский, В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач: 2-е изд.,испр. и доп /В.В.Подиновский, В.Д.Ногин. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 256 с.

117. Государственный статистический отчет предприятий области об использовании воды за 2006 г., ф. 2тп (водхоз). – Самара, Отдел водных ресурсов по Самарской области НВ БВУ, 2007.

118. Солодов, И.Н. Гидрогеохимический каротаж. Теория и практика/ И.Н.Солодов, В.И.Величкин, М.Г.Рубцов, В.Я.Купер, М.Б.Черток. – М.: Едиториал УРСС, 2005. – 320 с.

119. Сигал, И.Х. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы/И.Х.Сигал, А.П.Иванова. – М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2003.- 240 с.

120. Вагнер, Г. Основы исследования операций. Т.2/Г.Вагнер. – М.: Мир. – 1973. – 488 с.

121. Лэсдон, Л.С.Оптимизация больших систем/Л.С.Лэсдон. – М.: Наука. – 1979. – 432 с.

122. Dorn,W.S. Linear Fractional Programming/W.S.Dorn. - IBM, Res.Rept, RS-830. – 1962.

Приложение А. Базы фактов и базы правил для подземных и поверхностных источников

Таблица А.1 – Список базы фактов на этапе проектирования базы знаний «Поверхностные воды»

Идентификатор факта	Описание
V1	Временной фактор присутствия t1 (Ингредиенты природного происхождения)
V2	Временной фактор присутствия t2 (Ингредиенты природного происхождения)
V3	Временной фактор присутствия t3 (Ингредиенты антропогенного происхождения)
V4	Временной фактор присутствия t4 (Ингредиенты антропогенного происхождения)
V5	Временной фактор присутствия t5 (Примеси)
V6	Временной фактор присутствия t6 (Примеси)
V7	«Цветность» находится в пределах от 20 до 200 градусов
V8	«Цветность» находится в пределах от 200 до 650 градусов
V9	«Цветность» находится в пределах от 25 до 150 градусов
V10	«Цветность» меньше 20 градусов
V11	«Цветность» приблизительно равна 20 градусов
V12	«Цветность» приблизительно равна 200 градусов
V13	«Мутность» меньше 20 мг/л
V14	«Мутность» меньше 10 мг/л
V15	«Мутность» находится в пределах от 20 до 150 мг/л
V16	«Мутность» находится в пределах от 250 до 1000 мг/л
V17	«Мутность» находится в пределах от 1000 до 5000 мг/л
V18	«Мутность» находится в пределах от 5 до 50 мг/л
V19	«Мутность» меньше 1000 мг/л
V20	«Водородный показатель» находится в пределах от 6,8 до 9
V21	«Водородный показатель» находится в пределах от 6 до 8
V22	«Водородный показатель» находится в пределах от 6 до 9
V23	«Водородный показатель» находится в пределах от 7 до 9
V24	«Водородный показатель» находится в пределах от 6,5 до 9
V25	«Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 6 до 10 мгО ₂ /л
V26	«Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 8 до 25 мгО ₂ /л
V27	«Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 8 до 18 мгО ₂ /л
V28	«Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 5 до 8 мгО ₂ /л
V29	«Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 3 до 8 мгО ₂ /л
V30	«Общая минерализация» находится в пределах от 500 до 1500 мг/л
V31	«Общая минерализация» больше 1000 мг/л
V32	Жесткость общая» больше 7 мг-экв/л
V33	Класс водоисточника А1

Продолжение таблицы А.1

Идентификатор факта	Описание
V34	Класс водоемосточника А2
V35	Класс водоемосточника В
V36	Класс водоемосточника С1
V37	Класс водоемосточника С2
V38	Класс водоемосточника D
V39	Класс водоемосточника Е
V40	«Нефтепродукты» находится в пределах от 0,1 до 0,5 мг/л
V41	«Фенолы» находится в пределах от 0,001 до 0,01 мг/л
V42	«ПАВ анионоактивные» находится в пределах от 0,5 до 5 мг/л
V43	«Азот аммонийный» находится в пределах от 2 до 10 мг/л
V44	«Пестициды хлорорганические» находится в пределах от 0,002 до 0,02 мг/л
V45	«Пестициды фосфорорганические» находится в пределах от 0,02 до 0,1 мг/л
V46	«Цинк» находится в пределах от 5 до 15 мг/л
V47	«Свинец» находится в пределах от 0,03 до 0,1 мг/л
V48	«Медь» находится в пределах от 1 до 5 мг/л
V49	«Железо» находится в пределах от 0,3 до 1,5 мг/л
V50	«Кадмий» находится в пределах от 0,001 до 0,005 мг/л
V51	«Хлороформ» находится в пределах от 0,2 до 1 мг/л
V52	«Четыреххлористый углерод» находится в пределах от 0,006 до 0,03 мг/л
V53	«Диоксины» находится в пределах от 10 до 200 пкг/л
V54	«Общая α -радиация» находится в пределах от 0,1 до 0,4 Бк/л
V55	«Общая β -радиация» находится в пределах от 1 Бк/л до 3 Бк/л
V56	Подкласс водоемосточника П1
V57	Подкласс водоемосточника П2
V58	Подкласс водоемосточника П3
V59	Подкласс водоемосточника П4
V60	Подкласс водоемосточника П5
V61	Подкласс водоемосточника П6
V62	Подкласс водоемосточника П7
V63	Подкласс водоемосточника П8
V64	«Характер примесей: суспензии, эмульсии, микроорганизмы». Размер частиц которых в пределах от 10^{-2} до 10^{-5} см
V65	«Характер примесей: коллоиды, высокомолекулярные соединения, вирусы». Размер частиц которых в пределах от 10^{-5} до 10^{-6} см
V66	«Характер примесей: газы растворимые в воде, органические вещества придающие запах и цвет». Размер частиц которых в пределах от 10^{-6} до 10^{-7} см
V67	«Характер примесей: соли, кислоты, основания». Размер частиц которых в пределах от 10^{-7} до 10^{-8} см
V68	Группа примесей Г1
V69	Группа примесей Г2
V70	Группа примесей Г3
V71	Группа примесей Г4
V72	Технологическая схема Т1

Продолжение таблицы А.1

Идентификатор факта	Описание
V73	Технологическая схема Т2
V74	Технологическая схема Т3
V75	Технологическая схема Т4
V76	Технологическая схема Т5
V77	Технологическая схема Т6
V78	Технологическая схема Т7
V79	Технологическая схема Т8
V80	Технологическая схема Т9
V81	Технологическая схема Т10
V82	Технологическая схема Т11
V83	Технологическая схема Т12
V84	Технологическая схема Т13
V85	Технологическая схема Т14
V86	Технологическая схема Т15
V87	Технологическая схема Т16
V88	Технологическая схема Т17
V89	Технологическая схема Т18
V90	Технологическая схема Т19
V91	Технологическая схема Т20
V92	Технологическая схема Т21
V93	Технологическая схема Т1(К(Ф))
V94	Технологическая схема Т2(ПУ)
V95	Технологическая схема Т1(К(Ф), (ПУ))
V96	Технологическая схема Т5 К(Ф)
V97	Технологическая схема Т6(СУ)
V98	Технологическая схема Т6(К(Ф))
V99	Технологическая схема Т8(ПУ)
V100	Технологическая схема Т7(СУ)
V101	Технологическая схема Т9 (К(Ф))
V102	Технологическая схема Т10 (ПУ)
V103	Технологическая схема Т9 (К(Ф), (ПУ))
V104	Технологическая схема Т12 ((СУ), (ПУ))
V105	Технологическая схема Т15 (К(Ф))
V106	Технологическая схема Т17 (СУ)
V107	Технологическая схема Т17 (К(Ф), (СУ))
V108	Технологическая схема Т20 (ПУ)
V109	Технологическая схема Т18 (К(Ф), (СУ))

Таблица А.2 – Список базы фактов на этапе проектирования базы знаний «Подземные воды»

Идентификатор факта	Описание
V1	«Мутность» меньше или равна 1,5 мг/л
V2	«Мутность» меньше или равна 10 мг/л
V3	«Мутность» меньше или равна 20 мг/л

Продолжение таблицы А.2

Идентификатор факта	Описание
V4	«Мутность» меньше или равна 50 мг/л
V5	«Цветность» меньше или равна 20 градусов
V6	«Цветность» меньше или равна 50 градусов
V7	«Цветность» меньше или равна 70 градусов
V8	«Цветность» меньше или равна 100 градусов
V9	«Водородный показатель» в диапазоне от 6 до 9 рН
V10	«Водородный показатель» в диапазоне от 5,5 до 9 рН
V11	«Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 0,3 мг/л
V12	«Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 10 мг/л
V13	«Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 20 мг/л
V14	«Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 30 мг/л
V15	«Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 40 мг/л
V16	«Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 0,1 мг/л
V17	«Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 1 мг/л
V18	«Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 2 мг/л
V19	«Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 5 мг/л
V20	«Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 7 мг/л
V21	«Фториды (F ⁻)» в диапазоне от 0,7 до 1.5 мг/л
V22	«Фториды (F ⁻)» меньше или равно 5 мг/л
V23	«Фториды (F ⁻)» меньше или равно 7 мг/л
V24	«Фториды (F ⁻)» меньше или равно 10 мг/л
V25	«Перманганатная окисляемость» меньше или равна 2 мгО ₂ /л
V26	«Перманганатная окисляемость» меньше или равна 5 мгО ₂ /л
V27	«Перманганатная окисляемость» меньше или равна 15 мгО ₂ /л
V28	«Перманганатная окисляемость» меньше или равна 20 мгО ₂ /л
V29	«Перманганатная окисляемость» больше 25 мгО ₂ /л
V30	«Коли-индекс» меньше 3 кл/л
V31	«Коли-индекс» примерно равен 100 кл/л
V32	«Коли-индекс» примерно равен 1000 кл/л
V33	«Коли-индекс» больше 1000 кл/л
V34	«Общее микробное число (в 1мл)» в диапазоне от 20 до 50
V35	«Общее микробное число (в 1мл)» меньше или равно 100
V36	«Общее микробное число (в 1мл)» меньше или равно 200
V37	«Общее микробное число (в 1мл)» меньше или равно 1000
V38	«Общая минерализация (сухой остаток)» меньше 1000 мг/л
V39	«Общая минерализация (сухой остаток)» меньше или равна 1000 мг/л
V40	«Общая минерализация (сухой остаток)» меньше или равна 2000 мг/л
V41	«Общая минерализация (сухой остаток)» меньше или равна 5000 мг/л
V42	Класс подземных вод К1
V43	Класс подземных вод К2

Продолжение таблицы А.2

Идентификатор факта	Описание
V44	Класс подземных вод К3
V45	Класс подземных вод К4
V46	Класс подземных вод К5
V47	«Температура» меньше или равна 3 градусам Цельсия
V48	«Температура» больше или равна 6 градусам Цельсия
V49	«Цветность» больше 5 градусов
V50	«СО ₂ св.» меньше или равно 45 мг/л
V51	«СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л
V52	«СО ₂ св.» меньше 200 мг/л
V53	«СО ₂ агр.» больше 0
V54	«Железо (Fe)» меньше или равно 3 мг/л
V55	«Железо (Fe)» меньше или равно 5 мг/л
V56	«Железо (Fe)» меньше или равно 10 мг/л
V57	«Железо (Fe)» меньше или равно 15 мг/л
V58	«Железо (Fe)» меньше или равно 20 мг/л
V59	«Железо (Fe)» меньше или равно 25 мг/л
V60	«Железо (Fe)» меньше или равно 30 мг/л
V61	«Железо (Fe)» меньше или равно 40 мг/л
V62	«Марганец (Mn)» меньше 0,1 мг/л
V63	«Марганец (Mn)» меньше или равно 0,5 мг/л
V64	«Марганец (Mn)» меньше или равно 1 мг/л
V65	«Марганец (Mn)» меньше или равно 3 мг/л
V66	«Марганец (Mn)» меньше или равно 2 мг/л
V67	«Марганец (Mn)» меньше или равно 5 мг/л
V68	«Марганец (Mn)» меньше или равно 7 мг/л
V69	«Водородный показатель (рН)» больше или равен 6,8 рН
V70	«Водородный показатель (рН)» больше или равен 7,2 рН
V71	«Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН
V72	«Фториды (F ⁻)» меньше 1,5 мг/л
V73	«Фториды (F ⁻)» меньше или равно 1,5 мг/л
V74	«Фториды (F ⁻)» меньше или равно 7 мг/л
V75	«Фториды (F ⁻)» меньше или равно 10 мг/л
V76	«Минерализация» меньше 1000 мг/л
V77	«Минерализация» меньше или равна 2000 мг/л
V78	«Минерализация» меньше или равна 5000 мг/л
V79	«Нитраты (NO ₃ ⁻)» больше 45 мг/л
V80	«Нитриты (NO ₂ ⁻)» больше 3 мг/л
V81	«Аммоний (NH ₄ ⁺)» больше 2,6 мг/л
V82	«Фосфаты (PO ₄ ³⁻)» больше 3,5 мг/л
V83	«Бериллий (Be ²⁺)» больше 2*10 ⁻⁴ мг/л

Продолжение таблицы А.2

Идентификатор факта	Описание
V84	«Ртуть (Hg, суммарно)» больше $5 \cdot 10^{-4}$ мг/л
V85	«Кадмий (Cd, суммарно)» больше 0,001 мг/л
V86	«Свинец (Pb, суммарно)» больше 0,03 мг/л
V87	«Молибден (Mo, суммарно)» больше 0,25 мг/л
V88	«Алюминий (Al^{3+})» больше 0,5 мг/л
V89	«Барий (Ba^{2+})» больше 0,1 мг/л
V90	«Мышьяк (As, суммарно)» больше 0,05 мг/л
V91	«Селен (Se, суммарно)» больше 0,01 мг/л
V92	«Литий (Li^+)» больше 0,03 мг/л
V93	«Цинк (Zn^{2+})» больше 5 мг/л
V94	«Медь (Cu, суммарно)» больше 1 мг/л
V95	«Никель (Ni, суммарно)» больше 0,1 мг/л
V96	«Хром (Cr^{6+})» больше 0,05 мг/л
V97	«Кремний (Si)» больше 10 мг/л
V98	«Бор (B, суммарно)» больше 0,5 мг/л
V99	«Бромид (Br^-)» больше 0,2 мг/л
V100	«Нефтепродукты (суммарно)» больше 0,1 мг/л
V101	«ПАВ анионоактивные» больше 0,5 мг/л
V102	«Фенолы» больше 0,001 мг/л
V103	«м- ип- Крезолы» больше 0,004 мг/л
V104	«Хлороформ $CHCl_3$ » больше 0,02 мг/л
V105	«Четыреххлористый углерод CCl_4 » больше 0,006 мг/л
V106	« γ -ГХЦГ (линдан)» больше 0,002 мг/л
V107	«ДДТ (сумма изомеров)» больше 0,002 мг/л
V108	«2,4-Д» больше 0,3 мг/л
V109	«Карбофос» больше 0,05 мг/л
V110	«Бензол» больше 0,01 мг/л
V111	«Ксилол» больше 0,05 мг/л
V112	«Толуол» больше 0,5 мг/л
V113	«Канцерогенные вещества группы 3.4-бенз(а)пирена» больше $5 \cdot 10^{-6}$ мг/л
V114	«Диоксины» больше $2 \cdot 10^{-8}$ мг/л
V115	«Формальдегид» больше 0,05 мг/л
V116	«Диоксид углерода CO_2 » меньше 20 мг/л
V117	«Диоксид углерода CO_2 » в пределах от 20 до 140 мг/л
V118	«Диоксид углерода CO_2 » в пределах от 140 до 200 мг/л
V119	«Метан CH_4 (и его гомологии)» меньше или равно 10 мг/л
V120	«Метан CH_4 (и его гомологии)» в пределах от 10 до 40 мг/л
V121	«Сероводород H_2S » меньше или равно 5 мг/л
V122	«Сероводород H_2S » в пределах от 5 до 10 мг/л

Продолжение таблицы А.2

Идентификатор факта	Описание
V123	«Сероводород H ₂ S» в пределах от 10 до 30 мг/л
V124	«Стронций (Sr ²⁺)» больше 7 мг/л
V125	Технологическая схема Т1
V126	Технологическая схема Т2
V127	Технологическая схема Т3
V128	Технологическая схема Т4
V129	Технологическая схема Т5
V130	Технологическая схема Т6
V131	Технологическая схема Т7
V132	Технологическая схема Т8
V133	Технологическая схема Т9
V134	Технологическая схема Т10
V135	Технологическая схема Т11
V136	Технологическая схема Т12
V137	Технологическая схема Т13
V138	Технологическая схема Т14
V139	Технологическая схема Т15
V140	Технологическая схема Т16
V141	Технологическая схема Т17
V142	Технологическая схема Т18
V143	Технологическая схема Т19
V144	Технологическая схема Т20
V145	Технологическая схема Т21
V146	Технологическая схема Т22
V147	Технологическая схема Т23
V148	Технологическая схема Т24
V149	Технологическая схема Т25
V150	Технологическая схема Т26
V151	Технологическая схема Т27
V152	Технологическая схема Т28
V153	Технологическая схема Т29
V154	Технологическая схема Т30
V155	Технологическая схема Т31
V156	Технологическая схема Т32
V157	Технологическая схема Т33
V158	Технологическая схема Т34
V159	Технологическая схема Т35
V160	Технологическая схема Т36
V161	Технологическая схема Т37
V162	Технологическая схема Т38

Продолжение таблицы А.2

Идентификатор факта	Описание
V163	Технологическая схема Т39
V164	Технологическая схема Т40
V165	Технологическая схема Т41

Таблица А.3 – Список правил на этапе проектирования базы знаний «Поверхностные воды»

Идентификатор	Значение
Правила описывающие классы поверхностных водоисточников хозяйственно-питьевого водоснабжения	
R1	Если «Цветность» находится в пределах от 20 до 200 градусов и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника А1.
R2	Если «Цветность» находится в пределах от 200 до 650 градусов и временной фактор присутствия t1, то класс водоисточника А2.
R3	Если «Цветность» находится в пределах от 25 до 150 градусов и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника В.
R4	Если «Цветность» приблизительно равна 20 градусов и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника С1.
R5	Если «Цветность» приблизительно равна 200 градусов и временной фактор присутствия t1, то класс водоисточника D.
R6	Если «Цветность» меньше 20 градусов и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника Е.
R7	Если «Мутность» меньше 20 мг/л, и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника А1.
R8	Если «Мутность» меньше 10 мг/л и временной фактор присутствия t1, то класс водоисточника А2.
R9	Если «Мутность» находится в пределах от 20 до 150 мг/л и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника В.
R10	Если «Мутность» находится в пределах от 250 до 1000 мг/л и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника С1.
R11	Если «Мутность» находится в пределах от 1000 до 5000 мг/л и временной фактор присутствия t1, то класс водоисточника С2.
R12	Если «Мутность» находится в пределах от 5 до 50 мг/л и временной фактор присутствия t1, то класс водоисточника D.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R13	Если «Мутность» меньше 1000 мг/л и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника Е.
R14	Если «Водородный показатель» находится в пределах от 6,8 до 9 и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника А1.
R15	Если «Водородный показатель» находится в пределах от 6 до 8 и временной фактор присутствия t ₁ , то класс водоисточника А2.
R16	Если «Водородный показатель» находится в пределах от 6 до 9 и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника В.
R17	Если «Водородный показатель» находится в пределах от 7 до 9 и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника С1.
R18	Если «Водородный показатель» находится в пределах от 7 до 9 и временной фактор присутствия t ₁ , то класс водоисточника С2.
R19	Если «Водородный показатель» находится в пределах от 6,5 до 9 и временной фактор присутствия t ₁ , то класс водоисточника D.
R20	Если «Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 6 до 10 мгО ₂ /л и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника А1.
R21	Если «Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 8 до 25 мгО ₂ /л и временной фактор присутствия t ₁ , то класс водоисточника А2.
R22	Если «Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 8 до 18 мгО ₂ /л и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника В.
R23	Если «Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 5 до 8 мгО ₂ /л и временной фактор присутствия t ₂ , то класс водоисточника С1.
R24	Если «Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 3 до 8 мгО ₂ /л и временной фактор присутствия t ₁ , то класс водоисточника С2.
R25	Если «Перманганатная окисляемость» находится в пределах от 5 до 8 мгО ₂ /л и временной фактор присутствия t ₁ , то класс водоисточника D.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R26	Если «Общая минерализация» находится в пределах от 500 до 1500 мг/л и временной фактор присутствия t1, то класс водоисточника С2.
R27	Если «Общая минерализация» больше 1000 мг/л и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника Е.
R28	Если «Жесткость общая» больше 7 мг-экв/л и временной фактор присутствия t2, то класс водоисточника Е.
Правила описывающие подклассы поверхностных водоисточников по характеру их антропогенного загрязнения	
R29	Если «Нефтепродукты» находится в пределах от 0,1 до 0,5 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П1.
R30	Если «Фенолы» находится в пределах от 0,001 до 0,01 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П2.
R31	Если «ПАВ анионоактивные» находится в пределах от 0,5 до 5 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П3.
R32	Если «Азот аммонийный» находится в пределах от 2 до 10 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П4.
R33	Если «Пестициды хлорорганические» находится в пределах от 0,002 до 0,02 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П5.
R34	Если «Пестициды фосфорорганические» находится в пределах от 0,02 до 0,1 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П5.
R35	Если «Цинк» находится в пределах от 5 до 15 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П6.
R36	Если «Цинк» находится в пределах от 5 до 15 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П6.
R37	Если «Свинец» находится в пределах от 0,03 до 0,1 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П6.
R38	Если «Свинец» находится в пределах от 0,03 до 0,1 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П6.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R39	Если «Медь» находится в пределах от 1 до 5 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П6.
R40	Если «Медь» находится в пределах от 1 до 5 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П6.
R41	Если «Железо» находится в пределах от 0,3 до 1,5 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П6.
R42	Если «Железо» находится в пределах от 0,3 до 1,5 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П6.
R43	Если «Кадмий» находится в пределах от 0,001 до 0,005 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П6.
R44	Если «Кадмий» находится в пределах от 0,001 до 0,005 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П6.
R45	Если «Хлороформ» находится в пределах от 0,2 до 1 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П7.
R46	Если «Хлороформ» находится в пределах от 0,2 до 1 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П7.
R47	Если «Четыреххлористый углерод» находится в пределах от 0,006 до 0,03 мг/л и временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П7.
R48	Если «Четыреххлористый углерод» находится в пределах от 0,006 до 0,03 мг/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П7.
R49	Если «Диоксины» находится в пределах от 10 до 200 пкг/л временной фактор присутствия t3, то подкласс водоисточника П7.
R50	Если «Диоксины» находится в пределах от 10 до 200 пкг/л временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П7.
R51	Если «Общая α-радиация» находится в пределах от 0,1 до 0,4 Бк/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П8.
R52	Если «Общая β-радиация» находится в пределах от 1 Бк/л до 3 Бк/л и временной фактор присутствия t4, то подкласс водоисточника П8.
Правила описывающие классификацию примесей по их фазо-дисперсному состоянию.	
R53	Если «Характер примесей: суспензии, эмульсии, микроорганизмы. Размер частиц которых» в пределах от 10^{-2} до 10^{-5} см, то группа Г1.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R54	Если «Характер примесей: коллоиды, высокомолекулярные соединения, вирусы. Размер частиц которых» в пределах от 10^{-5} до 10^{-6} см, то группа Г2.
R55	Если «Характер примесей: газы растворимые в воде, органические вещества придающие запах и цвет. Размер частиц которых» в пределах от 10^{-6} до 10^{-7} см, то группа Г3.
R56	Если «Характер примесей: соли, кислоты, основания. Размер частиц которых» в пределах от 10^{-7} до 10^{-8} см, то группа Г4.
Правила описывающие классификацию основных технологий водоочистки	
R57	Если класс водоисточника А1 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t_6 , то технологическая схема Т1.
R58	Если класс водоисточника А1 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t_6 , то технологическая схема Т2.
R59	Если класс водоисточника А1 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t_5 , то технологическая схема Т3.
R60	Если класс водоисточника А1 и группа примесей Г3 и временной фактор присутствия t_5 , то технологическая схема Т3.
R61	Если класс водоисточника А1 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t_6 , то технологическая схема Т4.
R62	Если класс водоисточника А1 и группа примесей Г3 и временной фактор присутствия t_6 , то технологическая схема Т4.
R63	Если класс водоисточника А2 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t_6 , то технологическая схема Т5.
R64	Если класс водоисточника А2 и группа примесей Г3 и временной фактор присутствия t_6 , то технологическая схема Т5.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R65	Если класс водоисточника А2 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т6.
R66	Если класс водоисточника А2 и группа примесей Г3 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т6.
R67	Если класс водоисточника В и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т7.
R68	Если класс водоисточника В и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т7.
R69	Если класс водоисточника В и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т8.
R70	Если класс водоисточника В и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т8.
R71	Если класс водоисточника С1 и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т9.
R72	Если класс водоисточника С1 и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т10.
R73	Если класс водоисточника С1 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т10.
R74	Если класс водоисточника С1 и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т11.
R75	Если класс водоисточника С1 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т11.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R76	Если класс водоисточника С1 и группа примесей Г3 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т11.
R77	Если класс водоисточника С2 и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т12.
R78	Если класс водоисточника С2 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т12.
R79	Если класс водоисточника С2 и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т13.
R80	Если класс водоисточника С2 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т13.
R81	Если класс водоисточника С2 и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т14.
R82	Если класс водоисточника С2 и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т14.
R83	Если класс водоисточника D и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т15.
R84	Если класс водоисточника D и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т15.
R85	Если класс водоисточника D и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т16.
R86	Если класс водоисточника D и группа примесей Г2 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т16.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R87	Если класс водоисточника D и группа примесей Г1 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т17.
R88	Если класс водоисточника D и группа примесей Г3 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т17.
R89	Если класс водоисточника E и группа примесей Г4 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т18.
R90	Если класс водоисточника E и группа примесей Г4 и временной фактор присутствия t5, то технологическая схема Т19.
R91	Если класс водоисточника E и группа примесей Г4 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т20.
R92	Если класс водоисточника E и группа примесей Г4 и временной фактор присутствия t6, то технологическая схема Т21.
Правила описывающие классификацию технологий водоочистки дополнительно к основным, с учетом антропогенных загрязнений.	
R93	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П1, то технологическая схема Т3.
R94	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П2, то технологическая схема Т2.
R95	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П3, то технологическая схема Т2.
R96	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П4, то технологическая схема Т3.
R97	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П5, то технологическая схема Т4.
R98	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П6, то технологическая схема Т1 и (К(Ф)).
R99	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П7, то технологическая схема Т2 и (ПУ).

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R100	Если класс водоисточника А1 и тип подкласса П8, то технологическая схема Т1 и (К(Ф)) и (ПУ).
R101	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П1, то технологическая схема Т6.
R102	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П2, то технологическая схема Т5.
R103	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П3, то технологическая схема Т5.
R104	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П4, то технологическая схема Т5.
R105	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П5, то технологическая схема Т6.
R106	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П6, то технологическая схема Т5 и (К(Ф)).
R107	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П7, то технологическая схема Т6 и (СУ).
R108	Если класс водоисточника А2 и тип подкласса П8, то технологическая схема Т6 и (К(Ф)).
R109	Если класс водоисточника В и тип подкласса П1, то технологическая схема Т7.
R110	Если класс водоисточника В и тип подкласса П2, то технологическая схема Т8.
R111	Если класс водоисточника В и тип подкласса П3, то технологическая схема Т8.
R112	Если класс водоисточника В и тип подкласса П4, то технологическая схема Т8.
R113	Если класс водоисточника В и тип подкласса П5, то технологическая схема Т8.
R114	Если класс водоисточника В и тип подкласса П6, то технологическая схема Т7.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R115	Если класс водоисточника В и тип подкласса П7, то технологическая схема Т8 и (ПУ).
R116	Если класс водоисточника В и тип подкласса П8, то технологическая схема Т7 и (СУ).
R117	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П1, то технологическая схема Т10.
R118	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П2, то технологическая схема Т10.
R119	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П3, то технологическая схема Т10.
R120	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П4, то технологическая схема Т10.
R121	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П5, то технологическая схема Т10.
R122	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П6, то технологическая схема Т9 и (К(Ф)).
R123	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П7, то технологическая схема Т10 и (ПУ).
R124	Если класс водоисточника С1 и тип подкласса П8, то технологическая схема Т9 и (К(Ф)) и (ПУ).
R125	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П1, то технологическая схема Т12.
R126	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П2, то технологическая схема Т13.
R127	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П3, то технологическая схема Т13.
R128	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П4, то технологическая схема Т13.
R129	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П5, то технологическая схема Т13.
R130	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П6, то технологическая схема Т13.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R131	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П7, то технологическая схема Т14.
R132	Если класс водоисточника С2 и тип подкласса П8, то технологическая схема Т12 и ((СУ) и (ПУ)).
R133	Если класс водоисточника D и тип подкласса П1, то технологическая схема Т16.
R134	Если класс водоисточника D и тип подкласса П2, то технологическая схема Т16.
R135	Если класс водоисточника D и тип подкласса П3, то технологическая схема Т16.
R136	Если класс водоисточника D и тип подкласса П4, то технологическая схема Т17.
R137	Если класс водоисточника D и тип подкласса П5, то технологическая схема Т16.
R138	Если класс водоисточника D и тип подкласса П6, то технологическая схема Т15 и (К(Ф)).
R139	Если класс водоисточника D и тип подкласса П7, то технологическая схема Т17 и (СУ).
R140	Если класс водоисточника D и тип подкласса П8, то технологическая схема Т17 и (К(Ф)) и (СУ)).
R141	Если класс водоисточника E и тип подкласса П1, то технологическая схема Т19.
R142	Если класс водоисточника E и тип подкласса П2, то технологическая схема Т20.
R143	Если класс водоисточника E и тип подкласса П3, то технологическая схема Т20.
R144	Если класс водоисточника E и тип подкласса П4, то технологическая схема Т20.
R145	Если класс водоисточника E и тип подкласса П5, то технологическая схема Т19.
R146	Если класс водоисточника E и тип подкласса П6, то технологическая схема Т19.

Продолжение таблицы А.3

Идентификатор	Значение
R147	Если класс водоисточника Е и тип подкласса П7, то технологическая схема Т20 и (ПУ).
R148	Если класс водоисточника Е и тип подкласса П8, то технологическая схема Т18 и (К(Ф)) и (СУ).

Таблица А.4 Список правил на этапе проектирования базы знаний «Подземные воды»

Идентификатор	Значение
R1	Если «Мутность» меньше или равно 1,5 мг/л, то класс подземных вод К1.
R2	Если «Мутность» меньше или равно 1,5 мг/л, то класс подземных вод К2.
R3	Если «Мутность» меньше или равно 10 мг/л, то класс подземных вод К3.
R4	Если «Мутность» меньше или равно 20 мг/л, то класс подземных вод К4.
R5	Если «Мутность» меньше или равно 50 мг/л, то класс подземных вод К5.
R6	Если «Цветность» меньше или равно 20 градусов, то класс подземных вод К1.
R7	Если «Цветность» меньше или равно 20 градусов, то класс подземных вод К2.
R8	Если «Цветность» меньше или равно 50 градусов, то класс подземных вод К3.
R9	Если «Цветность» меньше или равно 70 градусов, то класс подземных вод К4.
R10	Если «Цветность» меньше или равно 100 градусов, то класс подземных вод К5.
R11	Если «Водородный показатель» в диапазоне от 6 до 9 рН, то класс подземных вод К1.
R12	Если «Водородный показатель» в диапазоне от 6 до 9 рН, то класс подземных вод К2.
R13	Если «Водородный показатель» в диапазоне от 6 до 9 рН, то класс подземных вод К3.
R14	Если «Водородный показатель» в диапазоне от 5,5 до 9 рН, то класс подземных вод К4.
R15	Если «Водородный показатель» в диапазоне от 5,5 до 9 рН, то класс подземных вод К5.
R16	Если «Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 0,3 мг/л, то класс подземных вод К1.
R17	Если «Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 10 мг/л, то класс подземных вод К2.
R18	Если «Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 20 мг/л, то класс подземных вод К3.

Продолжение таблицы А.4

Идентификатор	Значение
R19	Если «Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 30 мг/л, то класс подземных вод К4.
R20	Если «Железо(Fe, суммарно)» меньше или равно 40 мг/л, то класс подземных вод К5.
R21	Если «Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 0,1 мг/л, то класс подземных вод К1.
R22	Если «Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 1 мг/л, то класс подземных вод К2.
R23	Если «Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 2 мг/л, то класс подземных вод К3.
R24	Если «Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 5 мг/л, то класс подземных вод К4.
R25	Если «Марганец(Mn, суммарно)» меньше или равно 7 мг/л, то класс подземных вод К5.
R26	Если «Фториды (F ⁻)» в диапазоне от 0,7 до 1.5 мг/л, то класс подземных вод К1.
R27	Если «Фториды (F ⁻)» в диапазоне от 0,7 до 1.5 мг/л, то класс подземных вод К2.
R28	Если «Фториды (F ⁻)» меньше или равно 5 мг/л, то класс подземных вод К3.
R29	Если «Фториды (F ⁻)» меньше или равно 7 мг/л, то класс подземных вод К4.
R30	Если «Фториды (F ⁻)» меньше или равно 10 мг/л, то класс подземных вод К5.
R31	Если «Перманганатная окисляемость» меньше или равна 2 мгО ₂ /л то класс подземных вод К1.
R32	Если «Перманганатная окисляемость» меньше или равна 5 мгО ₂ /л то класс подземных вод К2.
R33	Если «Перманганатная окисляемость» меньше или равна 15 мгО ₂ /л то класс подземных вод К3.
R34	Если «Перманганатная окисляемость» меньше или равна 20 мгО ₂ /л то класс подземных вод К4.
R35	Если «Перманганатная окисляемость» больше 25 мгО ₂ /л то класс подземных вод К5.
R36	Если «Коли-индекс» меньше 3 кл/л, то класс подземных вод К1.
R37	Если «Коли-индекс» примерно равен 100 кл/л, то класс подземных вод К2.
R38	Если «Коли-индекс» примерно равен 1000 кл/л, то класс подземных вод К3.
R39	Если «Коли-индекс» больше 1000 кл/л, то класс подземных вод К4.
R40	Если «Коли-индекс» больше 1000 кл/л, то класс подземных вод К5.
R41	Если «Общее микробное число (в 1мл)» в диапазоне от 20 до 50, то класс подземных вод К2.

Продолжение таблицы А.4

Идентификатор	Значение
R42	Если «Общее микробное число (в 1мл)» меньше или равно 100, то класс подземных вод К3.
R43	Если «Общее микробное число (в 1мл)» меньше или равно 200, то класс подземных вод К4.
R44	Если «Общее микробное число (в 1мл)» меньше или равно 1000, то класс подземных вод К5.
R45	Если «Общая минерализация (сухой остаток)» меньше 1000 мг/л, то класс подземных вод К1.
R46	Если «Общая минерализация (сухой остаток)» меньше 1000 мг/л, то класс подземных вод К2.
R47	Если «Общая минерализация (сухой остаток)» меньше или равна 1000 мг/л, то класс подземных вод К3.
R48	Если «Общая минерализация (сухой остаток)» меньше или равна 2000 мг/л, то класс подземных вод К4.
R49	Если «Общая минерализация (сухой остаток)» меньше или равна 5000 мг/л, то класс подземных вод К5.
Правила описывающие технологические схемы очистки подземных вод от природных загрязнений по классам для питьевого водоснабжения.	
R50	Если класс подземных вод К1 и «Температура» больше или равна 6 градусам Цельсия и «СО ₂ св.» меньше 200 мг/л и «СО ₂ агр.» больше 0, то технологическая схема Т1.
R51	Если класс подземных вод К1 и «Температура» меньше или равна 3 градусам Цельсия и «СО ₂ св.» меньше 200 мг/л и «СО ₂ агр.» больше 0, то технологическая схема Т2.
R52	Если класс подземных вод К2 и «Железо (Fe)» меньше или равно 3 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше 0,1 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 45 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6,8 рН, то технологическая схема Т3.
R53	Если класс подземных вод К2 и «Железо (Fe)» меньше или равно 5 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 0,5 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 45 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 7,2 рН, то технологическая схема Т4.

Продолжение таблицы А.4

Идентификатор	Значение
R54	Если класс подземных вод К2 и «Железо (Fe)» меньше или равно 10 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 1 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН, то технологическая схема Т5.
R55	Если класс подземных вод К3 и «Железо (Fe)» меньше или равно 15 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 1 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН, то технологическая схема Т5.
R56	Если класс подземных вод К3 и «Железо (Fe)» меньше или равно 20 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 2 мг/л и «Фториды (F ⁻)» меньше 1,5 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН, то технологическая схема Т6 или Т7.
R57	Если класс подземных вод К3 и «Железо (Fe)» меньше или равно 20 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 1 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН, то технологическая схема Т8.
R58	Если класс подземных вод К4 и «Железо (Fe)» меньше или равно 25 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 3 мг/л и «Фториды (F ⁻)» меньше или равно 1,5 мг/л и «Минерализация» меньше 1000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН, то технологическая схема Т9.
R59	Если класс подземных вод К4 и «Железо (Fe)» меньше или равно 30 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 5 мг/л и «Фториды (F ⁻)» меньше или равно 7 мг/л и «Минерализация» меньше 1000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (рН)» больше или равен 6 рН, то технологическая схема Т10.

Продолжение таблицы А.4

Идентификатор	Значение
R60	Если класс подземных вод К4 и «Железо (Fe)» меньше или равно 30 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 5 мг/л и «Фториды (F)» меньше или равно 7 мг/л и «Минерализация» меньше или равна 2000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (pH)» больше или равен 6 pH, то технологическая схема Т11.
R61	Если класс подземных вод К4 и «Железо (Fe)» меньше или равно 30 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 5 мг/л и «Фториды (F)» меньше или равно 7 мг/л и «Минерализация» меньше 1000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (pH)» больше или равен 6 pH, то технологическая схема Т12.
R62	Если класс подземных вод К5 и «Железо (Fe)» меньше или равно 40 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 7 мг/л и «Фториды (F)» меньше или равно 7 мг/л и «Минерализация» меньше или равна 5000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (pH)» больше или равен 6 pH, то технологическая схема Т13.
R63	Если класс подземных вод К5 и «Железо (Fe)» меньше или равно 40 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 7 мг/л и «Фториды (F)» меньше или равно 10 мг/л и «Минерализация» меньше или равна 5000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (pH)» больше или равен 6 pH, то технологическая схема Т14.
R64	Если класс подземных вод К5 и «Железо (Fe)» меньше или равно 40 мг/л и «Марганец (Mn)» меньше или равно 7 мг/л и «Фториды (F)» меньше или равно 10 мг/л и «Минерализация» меньше или равна 5000 мг/л и «СО ₂ св.» меньше или равно 200 мг/л и «Водородный показатель (pH)» больше или равен 6 pH, и «Цветность» больше 5 градусов то технологическая схема Т15.

Продолжение таблицы А.4

Идентификатор	Значение
Правила описывающие технологии очистки подземных вод по компонентам антропогенных загрязнений.	
R65	Если «Нитраты (NO_3^-)» больше 45 мг/л, то технология Т16.
R66	Если «Нитриты (NO_2^-)» больше 3 мг/л, то технология Т16.
R67	Если «Аммоний (NH_4^+)» больше 2,6 мг/л, то технология Т17.
R68	Если «Фосфаты (PO_4^{3-})» больше 3,5 мг/л, то технология Т18.
R69	Если «Бериллий (Be^{2+})» больше $2 \cdot 10^{-4}$ мг/л, то технология Т19.
R70	Если «Ртуть (Hg, суммарно)» больше $5 \cdot 10^{-4}$ мг/л, то технология Т22.
R71	Если «Кадмий (Cd, суммарно)» больше 0,001 мг/л, то технология Т19.
R72	Если «Свинец (Pb, суммарно)» больше 0,03 мг/л, то технология Т19.
R73	Если «Молибден (Mo, суммарно)» больше 0,25 мг/л, то технология Т19.
R74	Если «Алюминий (Al^{3+})» больше 0,5 мг/л, то технология Т19.
R75	Если «Барий (Ba^{2+})» больше 0,1 мг/л, то технология Т17.
R76	Если «Мышьяк (As, суммарно)» больше 0,05 мг/л, то технология Т22.
R77	Если «Селен (Se, суммарно)» больше 0,01 мг/л, то технология Т17.
R78	Если «Литий (Li^+)» больше 0,03 мг/л, то технология Т20.
R79	Если «Цинк (Zn^{2+})» больше 5 мг/л, то технология Т20.
R80	Если «Медь (Cu, суммарно)» больше 1 мг/л, то технология Т20.
R81	Если «Никель (Ni, суммарно)» больше 0,1 мг/л, то технология Т20.
R82	Если «Хром (Cr^{6+})» больше 0,05 мг/л, то технология Т20.
R83	Если «Кремний (Si)» больше 10 мг/л, то технология Т19.
R84	Если «Бор (B, суммарно)» больше 0,5 мг/л, то технология Т23.
R85	Если «Бромид (Br^-)» больше 0,2 мг/л, то технология Т24.
R86	Если «Нефтепродукты (суммарно)» больше 0,1 мг/л, то технология Т25.
R87	Если «ПАВ анионоактивные» больше 0,5 мг/л, то технология Т26.

Продолжение таблицы А.4

Идентификатор	Значение
R88	Если «Фенолы» больше 0,001 мг/л, то технология Т27.
R89	Если «м- ип- Крезолы» больше 0,004 мг/л, то технология Т27.
R90	Если «Хлороформ CHCl_3 » больше 0,02 мг/л, то технология Т28.
R91	Если «Четыреххлористый углерод CCl_4 » больше 0,006 мг/л, то технология Т28.
R92	Если « γ -ГХЦГ (линдан)» больше 0,002 мг/л, то технология Т29.
R93	Если «ДДТ (сумма изомеров)» больше 0,002 мг/л, то технология Т29.
R94	Если «2,4-Д» больше 0,3 мг/л, то технология Т30.
R95	Если «Карбофос» больше 0,05 мг/л, то технология Т30.
R96	Если «Бензол» больше 0,01 мг/л, то технология Т30.
R97	Если «Ксилол» больше 0,05 мг/л, то технология Т30.
R98	Если «Толуол» больше 0,5 мг/л, то технология Т30.
R99	Если «Канцерогенные вещества группы 3.4-бенз(а)пирена» больше $5 \cdot 10^{-6}$ мг/л, то технология Т31.
R100	Если «Диоксины» больше $2 \cdot 10^{-8}$ мг/л, то технология Т32.
R101	Если «Формальдегид» больше 0,05 мг/л, то технология Т33.
Правила описывающие технологические способы и методы очистки подземных вод от растворенных газов.	
R102	Если «Диоксид углерода CO_2 » меньше 20 мг/л, то технология Т34.
R103	Если «Диоксид углерода CO_2 » в пределах от 20 до 140 мг/л, то технология Т35.
R104	Если «Диоксид углерода CO_2 » в пределах от 140 до 200 мг/л, то технология Т36.
R105	Если «Метан CH_4 (и его гомологии)» меньше или равно 10 мг/л, то технология Т37.
R106	Если «Метан CH_4 (и его гомологии)» в пределах от 10 до 40 мг/л, то технология Т38.
R107	Если «Сероводород H_2S » меньше или равно 5 мг/л, то технология Т39.
R108	Если «Сероводород H_2S » в пределах от 5 до 10 мг/л, то технология Т40.
R109	Если «Сероводород H_2S » в пределах от 10 до 30 мг/л, то технология Т41.
R110	Если «Стронций (Sr^{2+})» больше 7 мг/л, то технология Т21

Таблица А.5. Формальная программа логического вывода «Поверхностные воды»

Цель (Вершина)	Трасса	
V72	Факты	$((V109 \wedge V2) \wedge V69 \wedge V6)$
	Правила	$(R149 \wedge R54 \wedge R57)$
V73	Факты	$(V109 \wedge V2) \wedge ((V69 \wedge V6) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3))$
	Правила	$(R149 \wedge R54 \wedge R58) \vee (R149 \wedge R30 \wedge R94) \vee (R149 \wedge R31 \wedge R95)$
V74	Факты	$(V109 \wedge V2) \wedge ((V5 \wedge (V69 \vee V70)) \wedge (V40 \wedge V3) \wedge (V43 \wedge V3))$
	Правила	$(R149 \wedge R54 \wedge R59) \vee (R149 \wedge R55 \wedge R60) \vee (R149 \wedge R29 \wedge R93) \vee (R149 \wedge R32 \wedge R96)$
V75	Факты	$(V109 \wedge V2) \wedge ((V6 \wedge (V69 \vee V70)) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3))$
	Правила	$(R149 \wedge R54 \wedge R61) \vee (R149 \wedge R55 \wedge R62) \vee (R149 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R97)$
V76	Факты	$(V115 \wedge V1) \wedge ((V6 \wedge (V69 \vee V70)) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3) \vee (V43 \wedge V3))$
	Правила	$(R155 \wedge R54 \wedge R63) \vee (R155 \wedge R55 \wedge R64) \vee (R155 \wedge R30 \wedge R102) \vee (R155 \wedge R31 \wedge R103) \vee (R155 \wedge R32 \wedge R104)$
V77	Факты	$(V115 \wedge V1) \wedge ((V5 \wedge (V69 \vee V70)) \vee (V40 \wedge V3) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3))$
	Правила	$(R155 \wedge R54 \wedge R65) \vee (R155 \wedge R55 \wedge R66) \vee (R155 \wedge R29 \wedge R101) \vee (R155 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R105)$
V78	Факты	$(V111 \wedge V2) \wedge (V6 \wedge (V68 \vee V69)) \vee (V40 \wedge V3) \vee ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50))$
	Правила	$(R151 \wedge R53 \wedge R67) \vee (R151 \wedge R54 \wedge R68) \vee (R151 \wedge R29 \wedge R109) \vee (R151 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R114)$
V79	Факты	$(V111 \wedge V2) \wedge ((V6 \wedge (V68 \vee V69)) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3) \vee (V43 \wedge V3) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3))$
	Правила	$(R151 \wedge R53 \wedge R69) \vee (R151 \wedge R54 \wedge R70) \vee (R151 \wedge R30 \wedge R110) \vee (R151 \wedge R31 \wedge R111) \vee (R151 \wedge R32 \wedge R112) \vee (R151 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R113)$
V80	Факты	$((V112 \wedge V2 \wedge V19 \wedge V24) \wedge V68 \wedge V6)$
	Правила	$(R152 \wedge R53 \wedge R71)$
V81	Факты	$((V112 \wedge V2 \wedge V19 \wedge V24) \wedge (V6 \wedge (V68 \vee V69)) \vee (V40 \wedge V3) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3) \vee (V43 \wedge V3) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3))$
	Правила	$(R152 \wedge R53 \wedge R72) \vee (R152 \wedge R54 \wedge R73) \vee (R152 \wedge R29 \wedge R117) \vee (R152 \wedge R30 \wedge R118) \vee (R152 \wedge R31 \wedge R119) \vee (R152 \wedge R32 \wedge R120) \vee (R152 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R121)$
V82	Факты	$((V112 \wedge V2 \wedge V19 \wedge V24) \wedge V5) \wedge (V68 \wedge V69 \wedge V70)$
	Правила	$(R152 \wedge R53 \wedge R74) \vee (R152 \wedge R54 \wedge R75) \vee (R152 \wedge R55 \wedge R76)$
V83	Факты	$(V114 \wedge V1 \wedge V19) \wedge ((V6 \wedge (V68 \vee V69)) \vee (V40 \wedge V3))$
	Правила	$(R154 \wedge R53 \wedge R77) \vee (R154 \wedge R54 \wedge R78) \vee (R154 \wedge R29 \wedge R125)$

Продолжение таблицы А.5

Цель (Вершина)	Трасса	
V84	Факты	$(V114 \wedge V1 \wedge V19) \wedge ((V6 \wedge (V68 \vee V69)) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3) \vee (V43 \wedge V3) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3) \vee ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50)))$
	Правила	$(R154 \wedge R53 \wedge R79) \vee (R154 \wedge R54 \wedge R80) \vee (R154 \wedge R30 \wedge R126) \vee (R154 \wedge R31 \wedge R127) \vee (R154 \wedge R32 \wedge R128) \vee (R154 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R129) \vee (R154 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R130)$
V85	Факты	$(V114 \wedge V1 \wedge V19) \wedge ((V5 \wedge (V68 \vee V69)) \vee ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R154 \wedge R53 \wedge R81) \vee (R154 \wedge R54 \wedge R82) \vee (R154 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R131)$
V86	Факты	$((V113 \wedge V1 \wedge V24) \wedge V6) \wedge (V68 \vee V69)$
	Правила	$(R153 \wedge R53 \wedge R83) \vee (R153 \wedge R54 \wedge R84)$
V87	Факты	$(V113 \wedge V1 \wedge V24) \wedge ((V5 \wedge (V68 \vee V69)) \vee (V40 \wedge V3) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3))$
	Правила	$(R153 \wedge R53 \wedge R85) \vee (R153 \wedge R54 \wedge R86) \vee (R153 \wedge R29 \wedge R133) \vee (R153 \wedge R30 \wedge R134) \vee (R153 \wedge R31 \wedge R135) \vee (R153 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R137)$
V88	Факты	$((V113 \wedge V1 \wedge V24) \wedge ((V68 \vee V70) \wedge V5) \vee V59)$
	Правила	$(R153 \wedge R53 \wedge R87) \vee (R153 \wedge R55 \wedge R88) \vee (R153 \wedge R32 \wedge R136)$
V89	Факты	$((V110 \wedge V2) \wedge V71 \wedge V6)$
	Правила	$(R150 \wedge R56 \wedge R89)$
V90	Факты	$(V110 \wedge V2) \wedge ((V5 \wedge V71) \vee (V40 \wedge V3) \vee ((V44 \wedge V45) \wedge V3) \vee ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50)))$
	Правила	$(R150 \wedge R56 \wedge R90) \vee (R150 \wedge R29 \wedge R141) \vee (R150 \wedge (R33 \vee R34) \wedge R145) \vee (R150 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R146)$
V91	Факты	$(V110 \wedge V2) \wedge ((V6 \wedge V71) \vee (V41 \wedge V3) \vee (V42 \wedge V3) \vee (V43 \wedge V3))$
	Правила	$(R150 \wedge R56 \wedge R91) \vee (R150 \wedge R30 \wedge R142) \vee (R150 \wedge R31 \wedge R143) \vee (R150 \wedge R32 \wedge R144)$
V92	Факты	$((V110 \wedge V2) \wedge V71 \wedge V6)$
	Правила	$(R150 \wedge R56 \wedge R92)$
V93	Факты	$((V109 \wedge V2) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50)))$
	Правила	$(R149 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R98)$
V94	Факты	$((V109 \wedge V2) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R149 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R99)$
V95	Факты	$((V109 \wedge V2) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R149 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R100)$

Продолжение таблицы А.5

Цель (Вершина)	Трасса	
V96	Факты	$((V115 \wedge V1) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50)))$
	Правила	$(R155 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R106)$
V97	Факты	$((V115 \wedge V1) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R155 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R107)$
V98	Факты	$((V115 \wedge V1) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R155 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R108)$
V99	Факты	$((V111 \wedge V2) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R151 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R115)$
V100	Факты	$((V111 \wedge V2) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R151 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R116)$
V101	Факты	$((V112 \wedge V2 \wedge V19 \wedge V24) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50)))$
	Правила	$(R152 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R122)$
V102	Факты	$((V112 \wedge V2 \wedge V19 \wedge V24) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R152 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R123)$
V103	Факты	$((V112 \wedge V2 \wedge V19 \wedge V24) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R152 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R124)$
V104	Факты	$((V114 \wedge V1 \wedge V19) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R154 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R132)$
V105	Факты	$((V113 \wedge V1 \wedge V24) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V46 \vee V47 \vee V48 \vee V49 \vee V50)))$
	Правила	$(R153 \wedge (R35 \vee R36 \vee R37 \vee R38 \vee R39 \vee R40 \vee R41 \vee R42 \vee R43 \vee R44) \wedge R138)$
V106	Факты	$((V113 \wedge V1 \wedge V24) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R153 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R139)$
V107	Факты	$((V113 \wedge V1 \wedge V24) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R153 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R140)$
V108	Факты	$((V110 \wedge V2) \wedge ((V3 \vee V4) \wedge (V51 \vee V52 \vee V53)))$
	Правила	$(R150 \wedge (R45 \vee R46 \vee R47 \vee R48 \vee R49 \vee R50) \wedge R147)$
V109	Факты	$((V110 \wedge V2) \wedge (V4 \wedge (V54 \vee V55)))$
	Правила	$(R150 \wedge (R51 \vee R52) \wedge R148)$

Таблица А.6. Формальная программа логического вывода «Подземные воды»

Цель (Вершина)	Трасса	
V125	Факты	$(V1 \wedge V5 \wedge V9 \wedge V167 \wedge V21 \wedge V38) \wedge V48 \wedge V52 \wedge V53$
	Правила	$(R1 \wedge R6 \wedge R11 \wedge R113 \wedge R26 \wedge R45) \wedge R50$

Продолжение таблицы А.6

Цель (Вершина)	Трасса	
V126	Факты	$(V1 \wedge V5 \wedge V9 \wedge V167 \wedge V21 \wedge V38) \wedge V47 \wedge V52 \wedge V53$
	Правила	$(R1 \wedge R6 \wedge R11 \wedge R113 \wedge R26 \wedge R45) \wedge R51$
V127	Факты	$(V1 \wedge V5 \wedge V9 \wedge V166 \wedge V21 \wedge V38) \wedge V54 \wedge V62 \wedge V50 \wedge V69$
	Правила	$(R2 \wedge R7 \wedge R12 \wedge R111 \wedge R27 \wedge R46) \wedge R52$
V128	Факты	$(V1 \wedge V5 \wedge V9 \wedge V166 \wedge V21 \wedge V38) \wedge V55 \wedge V63 \wedge V50 \wedge V70$
	Правила	$(R2 \wedge R7 \wedge R12 \wedge R111 \wedge R27 \wedge R46) \wedge R53$
V129	Факты	$((V1 \wedge V5 \wedge V9 \wedge V166 \wedge V21 \wedge V38) \wedge V56 \wedge V64 \wedge V51 \wedge V71) \vee$ $\vee((V9 \wedge V168) \wedge V57 \wedge V64 \wedge V51 \wedge V71)$
	Правила	$((R2 \wedge R7 \wedge R12 \wedge R111 \wedge R27 \wedge R46) \wedge R50) \vee ((R13 \wedge R112) \wedge R55)$
V130	Факты	$(V9 \wedge V168) \wedge V58 \wedge V66 \wedge V72 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R13 \wedge R112) \wedge R56$
V131	Факты	$(V9 \wedge V168) \wedge V58 \wedge V66 \wedge V72 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R13 \wedge R112) \wedge R56$
V132	Факты	$(V9 \wedge V168) \wedge V58 \wedge V64 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R13 \wedge R112) \wedge R57$
V133	Факты	$(V33 \wedge V169 \wedge V10) \wedge V59 \wedge V65 \wedge V73 \wedge V76 \wedge V71$
	Правила	$(R39 \wedge R114 \wedge R14) \wedge R58$
V134	Факты	$(V33 \wedge V169 \wedge V10) \wedge V60 \wedge V67 \wedge V74 \wedge V76 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R39 \wedge R114 \wedge R14) \wedge R59$
V135	Факты	$(V33 \wedge V169 \wedge V10) \wedge V60 \wedge V67 \wedge V74 \wedge V77 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R39 \wedge R114 \wedge R14) \wedge R60$
V136	Факты	$(V33 \wedge V169 \wedge V10) \wedge V60 \wedge V67 \wedge V74 \wedge V76 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R39 \wedge R114 \wedge R14) \wedge R61$
V137	Факты	$(V33 \wedge V170 \wedge V10) \wedge V61 \wedge V68 \wedge V74 \wedge V78 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R40 \wedge R115 \wedge R15) \wedge R62$
V138	Факты	$(V33 \wedge V170 \wedge V10) \wedge V61 \wedge V68 \wedge V75 \wedge V78 \wedge V51 \wedge V71$
	Правила	$(R40 \wedge R115 \wedge R15) \wedge R63$
V139	Факты	$(V33 \wedge V170 \wedge V10) \wedge V61 \wedge V68 \wedge V75 \wedge V78 \wedge V51 \wedge V71 \wedge V49$
	Правила	$(R40 \wedge R115 \wedge R15) \wedge R64$
V140	Факты	$V79 \vee V80$
	Правила	$R65 \vee R66$
V141	Факты	$V81 \vee V89 \vee V91$
	Правила	$R67 \vee R75 \vee R77$
V142	Факты	$V82$
	Правила	$R68$
V143	Факты	$V83 \vee V85 \vee V86 \vee V87 \vee V88 \vee V97$
	Правила	$R73 \vee R72 \vee R71 \vee R69 \vee R74 \vee R83$
V144	Факты	$V92 \vee V93 \vee V94 \vee V95 \vee V96$
	Правила	$R82 \vee R81 \vee R80 \vee R79 \vee R78$

Продолжение таблицы А.6

Цель (Вершина)	Трасса	
V145	Факты	V124
	Правила	R110
V146	Факты	V84 ∨ V90
	Правила	R70 ∨ R76
V147	Факты	V98
	Правила	R84
V148	Факты	V99
	Правила	R85
V149	Факты	V100
	Правила	R86
V150	Факты	V101
	Правила	R87
V151	Факты	V102 ∨ V103
	Правила	R88 ∨ R89
V152	Факты	V104 ∨ V105
	Правила	R90 ∨ R91
V153	Факты	V106 ∨ V107
	Правила	R92 ∨ R93
V154	Факты	V108 ∨ V109 ∨ V110 ∨ V111 ∨ V112
	Правила	R94 ∨ R95 ∨ R96 ∨ R97 ∨ R98
V155	Факты	V113
	Правила	R99
V156	Факты	V114
	Правила	R100
V157	Факты	V115
	Правила	R101
V158	Факты	V116
	Правила	R102
V159	Факты	V117
	Правила	R103
V160	Факты	V118
	Правила	R104
V161	Факты	V119
	Правила	R105
V162	Факты	V120
	Правила	R106
V163	Факты	V121
	Правила	R107
V164	Факты	V122
	Правила	R108
V165	Факты	V123
	Правила	R109

Приложение Б. Свидетельство о регистрации программ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2013613152

«Система поддержки принятия решений
по технологиям водоподготовки»

Правообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Самарский государственный технический университет" (RU)*

Автор(ы): *Орлов Сергей Павлович (RU), Чуваков Александр Владимирович (RU), Нечаев Дмитрий Александрович (RU)*

Заявка № 2013611057

Дата поступления 11 февраля 2013 г.

Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
27 марта 2013 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

Приложение В. Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель министра строительства и
жилищно-коммунального хозяйства
Самарской области

В.Н.Березовский

«26» марта 2010 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Разработка Самарского государственного технического университета, а именно: «**Внедрение новых технологий и оборудования водоподготовки и очистки для подземных и поверхностных источников**», выполненная по государственному контракту N 117 от 14 марта 2007 г. (х/д 603/07),

внедрена с декабря 2009 года в министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Самарской области в соответствии с областной целевой программой «Обеспечение населения Самарской области питьевой водой» на 2005-2010 годы».

Назначение внедренной разработки: Обеспечение муниципальных предприятий жилищно-коммунального хозяйства научно обоснованными методическими рекомендациями по применению современных эффективных и экономичных средств подготовки питьевой воды, создание информационной системы по технологиям водоподготовки и очистки

Эффективность внедрения

Организационно-технические преимущества: интеллектуальная система поддержки принятия решения по технологиям и составу оборудования сокращает время проектирования систем водоснабжения, внедрение разработок обеспечивает получение воды нормативного качества при значительном загрязнении источников водоснабжения.

Социальный эффект: повышение качества питьевой воды, улучшение состояния здоровья населения.

Экономический эффект от внедрения разработки достигнут за счет рационального использования бюджетных средств при планировании инвестиций в строительство систем водоснабжения.

Исполнители: В.С.Семенов, С.П.Орлов, А.В.Чуваков, А.Г.Мережко
Д.А.Нечаев, Е.А.Михеева

Руководитель департамента
капитального строительства

О.Э.Богдан

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор НПО «Фильтр»



Сытников М.Б.

28 июня 2014 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-исследовательской работы

Комиссия в составе заместителя генерального директора ООО НПО «Фильтр», г. Тольятти Синичкина И.В., ведущего инженера Антипова В.М. и представителя СамГТУ заведующего кафедрой ВТ д.т.н., профессора Орлова С.П. составила настоящий акт о том, что результаты научно-исследовательских работ, выполненных в кандидатской диссертации Нечаева Д.А. "Система поддержки принятия решений в региональном водохозяйственном комплексе", внедрены и использованы в 2010-2013 годах в производственной деятельности ООО НПО «Фильтр».

При проектировании систем водоснабжения промышленных предприятий ОАО «ТольяттиАзот» г.Тольятти, ООО «Ветеран» г.Бузулук, ОАО «АСАДО» г. Самара использовались:

1. Программный комплекс ИСППР ТВ для генерации технологических схем водоснабжения.
2. Методика решения задачи оптимизации состава технологического оборудования водоснабжения.

Положительный эффект от внедрения получен в результате уменьшения времени проектирования и принятия экономически обоснованных решений по технологическим схемам водоснабжения.

Заместитель генерального директора
НПО «Фильтр»

 -И.В.Синичкин

Ведущий инженер НПО «Фильтр»

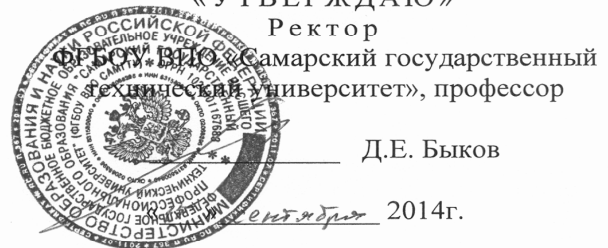
В.М.Антипов

Зав. кафедрой ВТ СамГТУ
д.т.н., профессор

 С.П.Орлов

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор



Д.Е. Быков, ректор Самарского государственного
технического университета», профессор

Д.Е. Быков

2014г.

АКТ

об использовании результатов диссертационной работы Нечаева Д.А.,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук,
в учебном процессе Самарского государственного технического университета

Комиссия в составе начальника управления высшего образования университета к.т.н. доцента О.Ю. Еремичевой, декана факультета автоматизации и информационных технологий к.т.н. доцента Н.Г. Губанова, заведующего кафедрой «Вычислительная техника» д.т.н., профессора С.П. Орлова, составила настоящий акт о том, что в учебном процессе Самарского государственного технического университета использованы следующие результаты кандидатской диссертации Д.А. Нечаева «Система поддержки принятия решений в региональном водохозяйственном комплексе».

1. Модели комплексной оценки и классификации сложных объектов на основе методологии DEA излагается в лекционном курсе по дисциплине "Управление программными проектами" для студентов направлений 230100 "Информатика и вычислительная техника" и 231000 «Программная инженерия».

2. Алгоритмы принятия решений и принципы построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений используются в лекционном курсе и лабораторных работах по дисциплине «Системы искусственного интеллекта» направления 230100 "Информатика и вычислительная техника".

Начальник УВО СамГТУ
к.э.н. доцент

О.Ю. Еремичева

Декан ФАИТ
к.т.н. доцент

Н.Г. Губанов

Зав. кафедрой ВТ
д.т.н. профессор

С.П. Орлов