

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)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2014

Работа выполнена на кафедре «Вычислительная техника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «СамГТУ»)

Научный руководитель **Орлов Сергей Павлович**,
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты **Пищухин Александр Михайлович**,
доктор технических наук, профессор, декан факультета информационных технологий ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный университет», (г. Оренбург)

Пупырев Евгений Иванович
доктор технических наук, профессор,
генеральный директор ОАО
«Институт МосводоканалНИИпроект»,
(г. Москва)

Ведущая организация ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»,
(г. Самара)

Защита состоится 25 декабря 2014 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.217.03 при ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет» по адресу: г. Самара, ул. Галактионовская, 141, корп. № 6, ауд. № 33.

Отзывы на автореферат просим высылать в двух экземплярах, заверенных печатью, по адресу: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус СамГТУ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.217.03; тел. (846) 337-04-43, e-mail: radch@samgtu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке СамГТУ (г. Самара, ул. Первомайская, 18, корпус № 1) и на сайте и на сайте диссертационного совета Д212.217.03 и на сайте диссертационного совета Д 212.217.03 <http://d21221703.samgtu.ru> .

Автореферат разослан « ____ » _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д212.217.03
доктор технических наук, доцент

В.Е. Зотеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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. Пospelov, И.В. Прангишвили, С.В. Прокопчина, 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, М.Г. Журбы, Г.И. Николадзе, Е.И. Пупырева, А.К.Стрелкова.

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 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 принятия решений.

Диссертация выполнена в соответствии с пунктами 2, 4 и 9 паспорта специальности 05.13.01.

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, отличающийся использованием практической границы и 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 ДЕА 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», г. Тольятти, при выполнении работ по проектированию систем 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 [1,3,4,8,12], функциональная структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки [2,6,7], разработка экспертной системы ИСППР [9,10], алгоритмизация процедуры генерации альтернативных технологических решений [14].

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

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

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, основные положения, выносимые на защиту, практическая ценность полученных результатов.

В первой главе работы с позиций системного анализа рассмотрен водохозяйственный комплекс Самарской области. Показано, что для решения проблемы обеспечения водой и водоотведения промышленных предприятий области и населения в условиях ограниченных водных ресурсов и соблюдения требований экологии необходимо на основе единого научно-методологического подхода осуществлять управление региональной программой с целью эффективного использования бюджетного и внебюджетного финансирования. Описана структура информационно-управляющей системы водохозяйственного комплекса, включающая следующие компоненты: информационно-измерительные системы на водозаборах и станциях водоочистки, подсистемы управления в территориальных образованиях, экспертную систему для принятия управленческих решений, интерфейсный модуль для включения в информационную систему Электронного правительства области. Сделан вывод о необходимости создания интеллектуальной системы поддержки принятия управленческих решений (ИСППР) и ее дальнейшей интеграции в информационно-управляющую систему водохозяйственного комплекса.

Высокая стоимость систем водоснабжения крупных промышленных предприятий требует глубокого технико-экономического анализа возможных вариантов решения этой проблемы для выбора оптимального варианта. Для крупных производственных объектов требуются большие расходы воды, которые не обеспечиваются местными водными источниками. В таких случаях решается задача использования удаленных источников воды и транспортирование ее на большое расстояние. Однако в некоторых случаях, например при выборе места расположения тепловых электростанций, может оказаться экономически целесообразнее располагать их ближе к источникам

воды, чем к источникам топлива. Кроме того, сокращение дальности транспортирования воды к объекту всегда повышает надежность системы водоснабжения.

Все эти вопросы должны решаться в рамках региональной целевой программы водоснабжения и водоотведения с использованием интеллектуальной ИСППР. Региональная целевая программа представляет собой крупномасштабный проект, в котором реализуется сложный комплекс технических проектных решений. Объектами программы являются создаваемые системы водоснабжения для промышленных предприятий и населенных пунктов территориальных образований Самарской области.

В работе предложено формальное описание процесса реализации региональной программы водоснабжения и водоотведения. Целевая программа состоит из множества отдельных проектов P_n для объектов водоснабжения. Мероприятия F_t^n , предусмотренные в проекте P_n и представляющие собой воздействия на объект, обеспечивают целенаправленное преобразование ресурсов Z_t в условиях E_t сложившихся внутренней и внешней ситуации и инициирующих их управленческих решений U_t . Их можно представить в виде последовательности мероприятий этапов F_{jt}^n , реализуемых в рамках проекта P_n за период T :

$$F_t^n : \{F_{jt}^n(Z_t; E_t; U_t)\}$$

где $U_t = \{u_{jt}\}$, $j = \overline{1, J_n}$ – число этапов программы.

Условия реализации проекта E_t определяются полнотой априорной информации, наличием проектных требований, ограничений и граничных условий проекта P_n . Свойства объекта проектирования и его внешнего окружения $G_t^{(E)}$, а также их взаимодействия меняются во времени реализации проекта. Внешнюю среду составляют субъекты и объекты $\{G_{t,i}^E\}$, $i = 1, \dots, 10$, оказывающие влияние на проект и объект проектирования, а также на систему управления проектом.

Определяя целевые переменные f^1, f^2, \dots, f^k в зависимости от совокупности критериев – целевых показателей региональной программы водоснабжения, сформулируем многокритериальную задачу оптимизации управления проектом P_n на каждом этапе программы:

$$\max\{f^1(U_{nj}), \dots, f^k(U_{nj})\}, \quad (1)$$

$$U_{nj} \in \Omega$$

где $f^1(U_{nj}), \dots, f^k(U_{nj})$ – функции зависимости показателей программы от управляющих решений на этапе j , Ω – область допустимых решений на параметрическом множестве.

При утверждении целевой региональной программы водоснабжения определен ряд целевых показателей, которые являются критериями выполнения проектов программы. По постановлению Правительства РФ от 22.12.2010 г. № 1092 «О федеральной целевой программе «Чистая вода» на 2011 – 2017

годы» и постановлению Правительства Самарской области от 09.10.2009 г. № 542 «Чистая вода на 2010-2015 годы» определены целевые показатели и индикаторы, к которым относятся показатели соответствия санитарно-химическим и микробиологическим нормативам, состояния износа водозаборов и водопроводной сети и др. Эти показатели используются при разработке методов управления с помощью системы поддержки принятия решений для региональной программы водоснабжения.

Проведенный в первой главе анализ позволил разработать архитектуру интеллектуальной системы поддержки принятия решения по технологиям водоснабжения (ИСППР ТВ), определить ее задачи и функции и наметить направления дальнейших исследований в диссертации.

Вторая глава посвящена разработке моделей и алгоритмов системного анализа объектов водоснабжения в рамках региональной программы.

С целью учета большинства вышеперечисленных факторов в диссертационной работе разработан комплекс системных моделей (рисунок 1), которые являются теоретической базой для построения ИСППР в соответствии с жизненным циклом региональной программы.

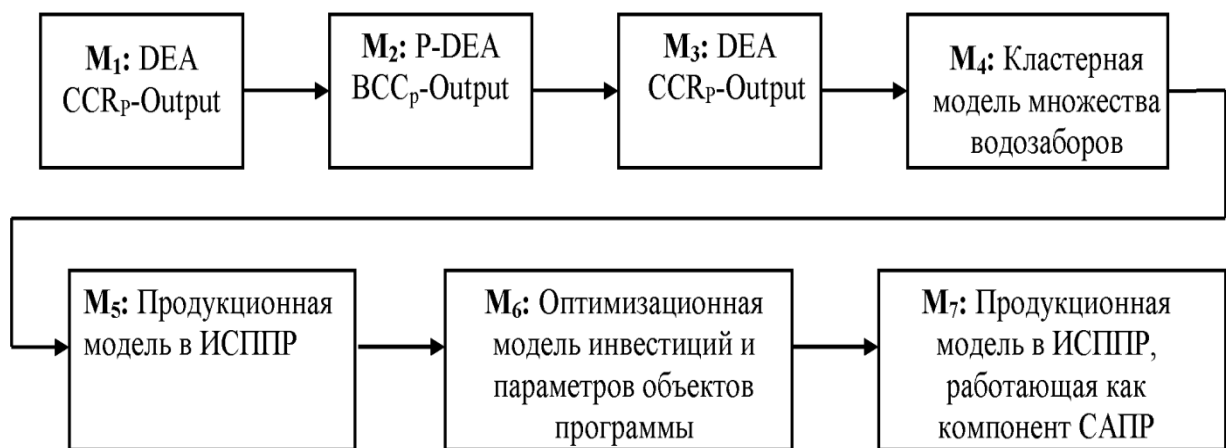


Рисунок 1. Комплекс системных моделей

Модель оценки и классификации объектов промышленного водоснабжения по эффективности **M₁: CCR_p - Output** строится на основе методологии *DEA (Data Envelopment Analysis)* и представляет собой ориентированную на выход модель Чарнеса-Купера-Роуда с учетом постоянного коэффициента отдачи. Для построения искусственных эффективных объектов используется модель Банкера – Чарнеса – Купера **M₂: BCC_p-Output**, ориентированная на выход с учетом переменного коэффициента отдачи. Модель **M₃: CCR_p – Output** далее применяется для классификации систем водоснабжения. Модель **M₄** служит для классификации источников воды по нормативным параметрам.

Соответственно, модели **M₅** и **M₇** используются для генерации технологических решений по водоснабжению или водоотведению, а модель **M₆** определяет предварительное распределение инвестиционных ресурсов по объектам программы.

Модель M_1 используется для классификации и оценки объектов, стратифицированных следующим образом: а) территориальные образования Самарской области, б) крупные промышленные предприятия, водоснабжение и водоотведение которых проектируется заново или подлежит кардинальной реконструкции, в) системы водоснабжения и водоотведения населенных пунктов.

Методика применения модели M_1 иллюстрируется на примере анализа и классификации городов и районов области по параметрам водообеспеченности. В регионе имеется N территориальных образований, каждое из которых является объектом системного 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:

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

где $n = \overline{1, N}$; N – число территориальных образований в анализируемой группе объектов. На рисунке 2 приведены критерии многоуровневой оценки эффективности водоснабжения. В силу противоречивости частных оценок в соответствии с DEA методологией были сформированы обобщенные критерии водообеспечения. Для каждого n – го объекта формируется максимизируемый функционал взвешенной суммы частных критериев водообеспеченности:

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

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

$$u_{1n}, u_{2n}, u_{3n} \in G_1$$

$$\text{при ограничениях: } u_{1n} y_{1j} + u_{2n} y_{2j} + u_{3n} y_{3j} \leq 1; j = \overline{1, N},$$

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

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

$$u_{4n}, u_{5n}, u_{6n} \in G_2$$

$$\text{при ограничениях: } u_{4n} y_{4j} + u_{5n} y_{5j} + u_{6n} y_{6j} \leq 1; j = \overline{1, N},$$

где G_1, G_2 – области значений искомым весовых коэффициентов.

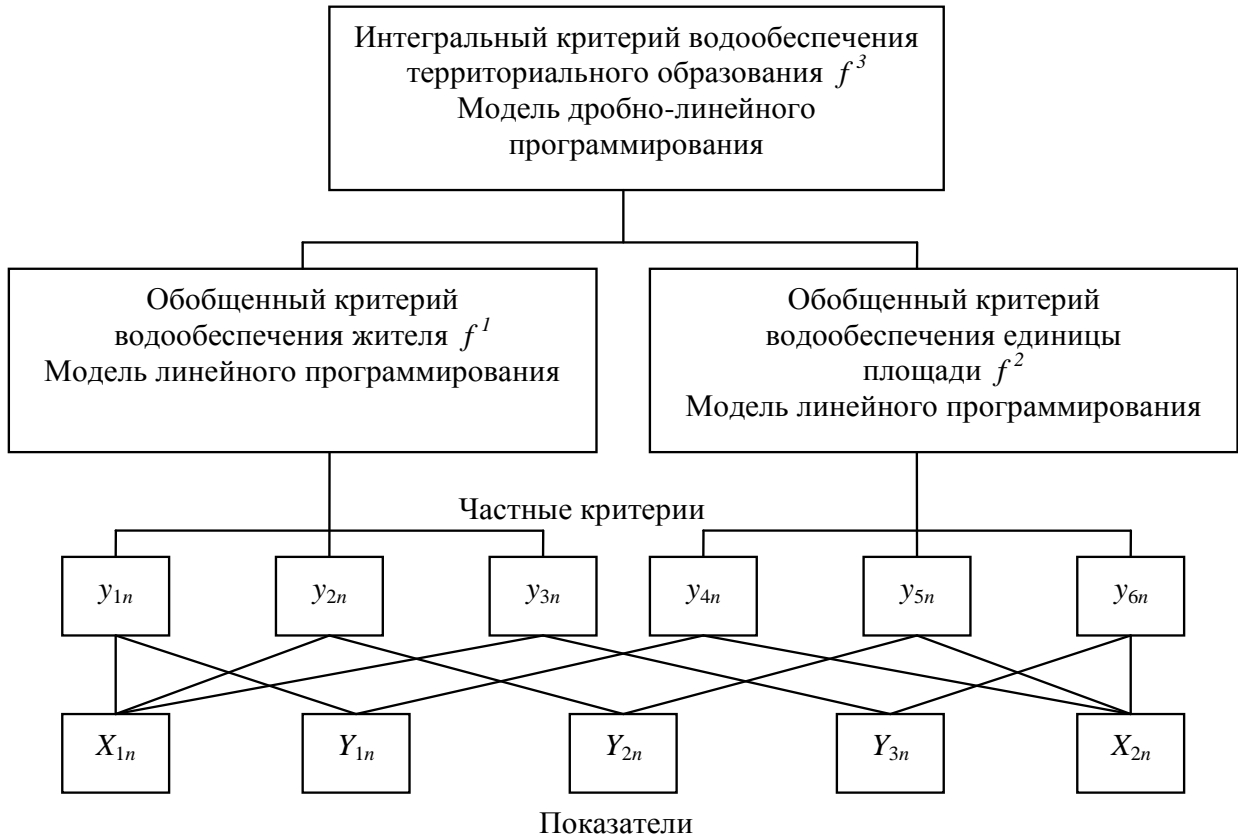


Рисунок 2. Иерархия критериев водообеспечения территориального образования

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 (3) или (5), отвечающих нормированию обобщенных показателей водообеспечения на интервале $[0; 1]$.

В общем случае модель обобщенного оценивания (2) - (3) 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) и (3) линейного программирования решаются симплекс-методом.

Аналогично по модели (4) - (5) находятся весовые коэффициенты u_{4n} , u_{5n} , u_{6n} для целевой функции f_n^2 и вычисляется ее максимум на G_2 . Результаты приведены на рисунке 3.

Для получения системной обобщенной оценки водообеспеченности предложено сформировать интегральный критерий водообеспечения. Критерий

f_n^3 системной водообеспеченности, характеризующий интегральную оценку водоснабжения n -ого объекта, формируется с помощью модели CCR_D -Output, ориентированной на выход с учетом постоянного эффекта масштаба. Она представляет собой N задач дробно-линейного программирования с N ограничениями. С помощью преобразования Чарнеса –Купера осуществляется переход от дробно-линейной формы к задачам линейного программирования.

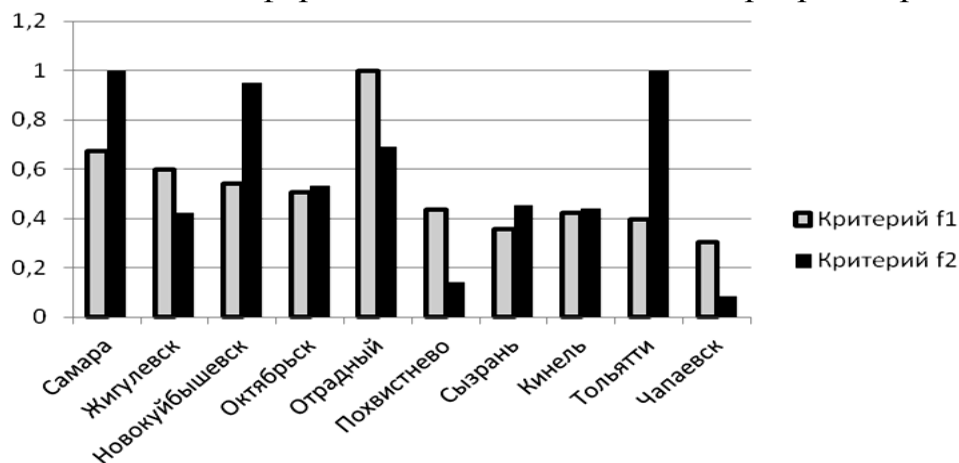


Рисунок 3. Обобщенные критерии водообеспечения для городов Самарской области

Результаты расчета интегрального критерия f_n^3 , характеризующего системную эффективность водообеспечения городов Самарской области, представлены на рисунке 4. Аналогично получены значения интегрального критерия водообеспечения для 27-ми муниципальных районов области.

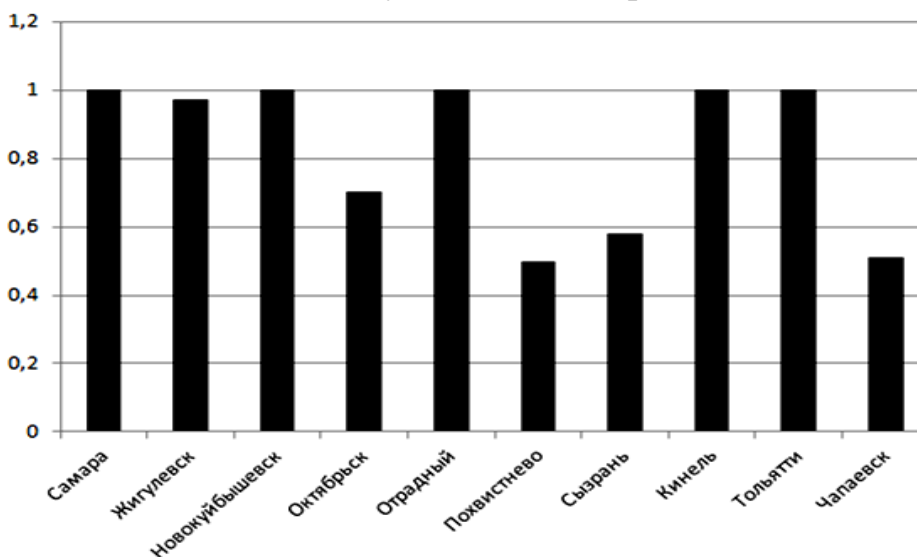


Рисунок 4. Интегральный критерий водообеспечения для городов Самарской области

С помощью методологии DEA также выполняется классификация и оценка эффективности водоснабжения промышленных предприятий. В этом случае используются соответствующие частные критерии.

Пусть в территориальном образовании имеется N промышленных предприятий. Для оценки эффективности водоснабжения каждое предприятие описывается двумя входами: $X_{1n}^П$ – объем производимой промышленной

продукции, X_{2n}^{Π} - производительность водозаборов предприятия, и тремя выходами: Q_{1n}^{Π} - средний часовой расход в сутки наибольшего водопотребления, Q_{2n}^{Π} - коэффициент обратного водоснабжения для технологических процессов, Q_{3n}^{Π} - объем канализационных стоков в системе водоотведения. Сформированы шесть видов частных критериев водообеспечения промышленного производства - удельные расходы на единицу продукции, степень оборотности воды в производстве, удельное водоотведение для каждого промышленного предприятия в территориальном образовании:

$$y_{1n}^{\Pi} = \frac{Q_{1n}^{\Pi}}{X_{1n}^{\Pi}}; \quad y_{2n}^{\Pi} = \frac{Q_{2n}^{\Pi}}{X_{2n}^{\Pi}}; \quad y_{3n}^{\Pi} = \frac{Q_{3n}^{\Pi}}{X_{1n}^{\Pi}}; \quad y_{4n}^{\Pi} = \frac{Q_{1n}^{\Pi}}{X_{2n}^{\Pi}}; \quad y_{5n}^{\Pi} = \frac{Q_{2n}^{\Pi}}{X_{2n}^{\Pi}}; \quad y_{6n}^{\Pi} = \frac{Q_{3n}^{\Pi}}{X_{2n}^{\Pi}},$$

где $n = \overline{1, N}$; N - число промышленных предприятий, расположенных в территориальном образовании.

Методика DEA формирования интегрального критерия эффективности водоснабжения промышленного объекта аналогична изложенной выше схеме анализа водоснабжения территориальных образований.

На следующем этапе в диссертационной работе поставлена задача определения путей дальнейшего повышения эффективности для каждого кластера объектов. Она решена с использованием модели практической границы P-DEA, 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 рис. 5 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 .

Для каждого ранее сформированного кластера объектов программы строится модель ВСС_р-Output, ориентированная на выход с учетом переменного эффекта масштаба. Критерий f_0^3 эффективности искусственного объекта для объектов данного кластера определяется решением следующей задачи дробно-линейного программирования:

$$f_0^3 = \max \left(\frac{\sum_{r=1}^M u_r Y_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^K v_i X_{i0}} \right), \quad (6)$$

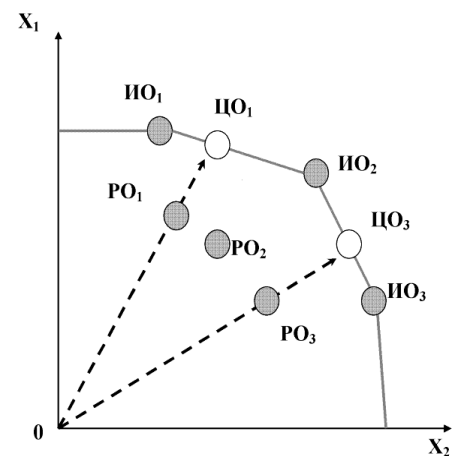


Рисунок 5. Практическая граница и искусственные объекты

$$\text{при ограничениях } \left(\frac{\sum_{r=1}^M u_r Y_{rj} + u_0}{\sum_{i=1}^K v_i X_{ij}} \right) \leq 1, \quad j = \overline{1, N_{KL}}, \quad (7)$$

$$1 \leq \left(\frac{\sum_{r=1}^M u_r Y_{r0} + u_0}{\sum_{i=1}^K v_i X_{i0}} \right) \leq 1 + \delta, \quad u_r, v_i \geq 0, \quad \forall i, \forall r; \quad u_0 - \text{свободно}, \quad (8)$$

где (7) – ограничения для реальных эффективных объектов, (8) – ограничение для нового искусственного объекта, X_{i0} и Y_{r0} – искомые значения входов и выходов искусственного эффективного объекта, N_{KL} – число объектов в кластере, K – число входов и M – число выходов у объектов.

Задача (6) – (8) с помощью преобразования Чарнеса – Купера сводится к решению задач линейного программирования, при этом проводятся соответствующие преобразования системы ограничений (7) – (8), определяющих область решения.

В результате решения преобразованной задачи с помощью симплекс-метода 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 R_{rj}^y и R_{ij}^x j -го реального объекта, чтобы он достиг уровня эффективности искусственного объекта:

$$R_{rj}^y = Y_{r0} - Y_{rj}, \quad r = \overline{1, M}, \quad R_{ij}^x = X_{i0} - X_{ij}, \quad i = \overline{1, K}.$$

Полученные значения используются для вычисления инвестиций в объекты региональной программы: 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 даны расчеты для города Похвистнево при заданном значении $\delta=1.1$, которые сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Объект кластера	Показатели					
	Реальный объект кластера - г. Похвистнево	Y_{1j}	18245	Y_{2j}	6470	Y_{3j}
Искусственный объект	Y_{10}	18245	Y_{20}	6470	Y_{30}	1.2 (83%)
Изменение показателей	R_{1j}	0	R_{2j}	0	R_{3j}	0,17 (13,4%)
Инвестиции $C(R_{rj}^y)$, тыс. рублей	0		0		37,44	
Суммарные инвестиции, тыс. рублей	37 440					

Анализ таблицы 1 показывает, что первоочередной задачей для г. Похвистнева является реконструкция водопроводных сетей. При этом вложения в повышение производительности водозабора не дадут существенного эффекта.

Разработанные системные модели лежат в основе алгоритмов оценки и классификации объектов водоснабжения и водоотведения на предпроектном этапе.

В третьей главе описаны разработка интеллектуальной системы поддержки принятия решения по технологиям водоснабжения, а также постановка оптимизационной задачи выбора оборудования и параметров технологической схемы водоснабжения.

Интеллектуальная система поддержки принятия решений ИСППР состоит из двух основных подсистем (рисунок 6):

1. Ядро содержит Навигатор системы и модули системного анализа, оптимизации, расчетов и формирования необходимой отчетности. Ядро ИСППР реализует общие алгоритмы работы. Модули системного анализа, оптимизации и статистической обработки используют встраиваемое лицензионное программное обеспечение – математический пакет Mathworks MatLab.

2. Комплекс специализированных модулей содержит систему управления базами данных, базу знаний и экспертную систему. Их функционирование определяется профилем целевой программы и проектируется по техническому заданию профильного департамента или министерства областного правительства. Модуль связи обеспечивает интеграцию в информационную систему Электронного правительства ИС ЭП региона.

В рамках общей структуры ИСППР предложена и реализована система поддержки принятия решения по технологиям водоподготовки ИСППР ТВ. Система содержит базы знаний «Поверхностные воды» и «Подземные воды», а также базы данных по оборудованию и готовым технологическим схемам водоподготовки. Для каждой базы знаний создан сценарий логического вывода или база фактов на основе классификатора технологий НИИ ВОДГЕО, г. Москва. Проведено заполнение базы правил в соответствии с синтаксисом правил продукционной модели, сформирован и оптимизирован граф логического вывода.

Подсистемы «Поверхностные воды» и «Подземные воды» содержат правила, описывающие:

- классы поверхностных и подземных источников водоснабжения;
- подклассы поверхностных источников по антропогенному загрязнению;
- классификацию основных технологий водоподготовки для промышленных производств предприятий Самарской области с учетом антропогенных и природных загрязнений;
- технологические схемы и оборудование очистки подземных и поверхностных вод от загрязнений по классам для промышленного водоснабжения;
- классификации примесей по их фазо-дисперсному состоянию.

Одна из важных функций ИСППР ТВ – прогнозирование состояния источников воды и корректировка состава и режимов оборудования системы водоснабжения. С этой целью в информационно-управляющую систему водохозяйственного комплекса включаются информационно-измерительные системы контроля параметров водозаборов.

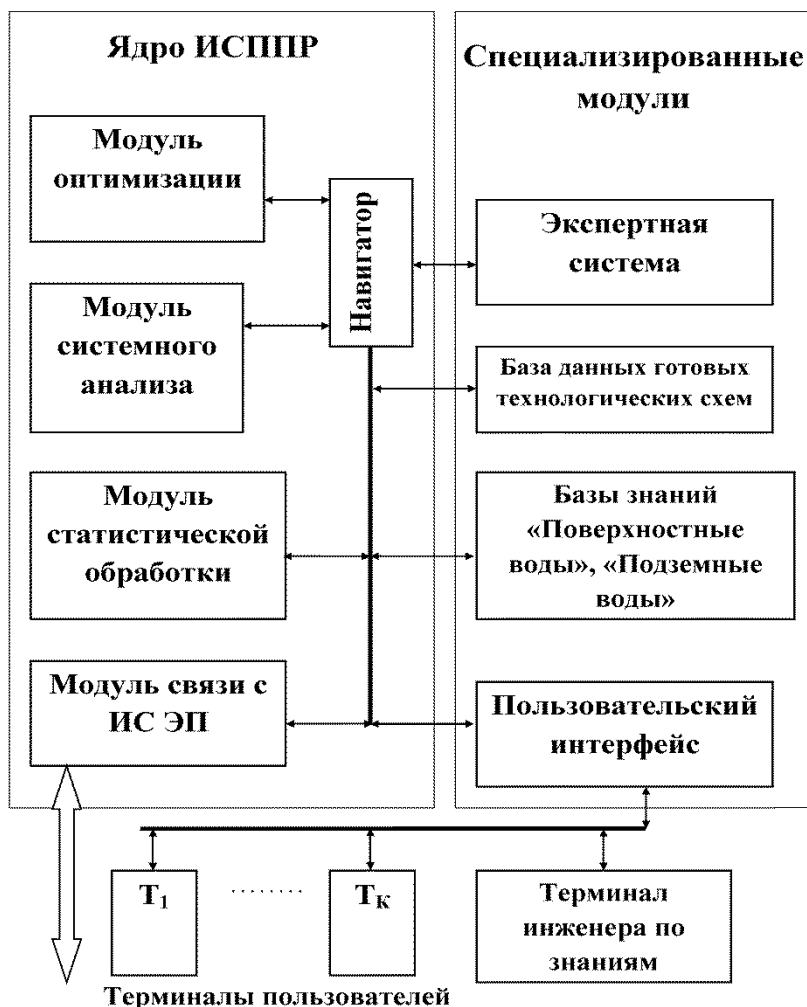


Рисунок 6. Интеллектуальная система поддержки принятия решений

Разработанная ИСППР ТВ может использоваться и как компонент САПР при выполнении основных проектных работ по системе водоснабжения.

В диссертационной работе также выполнена постановка задачи оптимального выбора технологического оборудования системы водоснабжения, которая основывается на множестве альтернативных технологических схем, вырабатываемых ИСППР ТВ.

Для создаваемой системы промышленного водоснабжения ИСППР ТВ генерирует 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 $Q_j = \{q_m\}$, $m \in I_j^{\text{ТА}} \subseteq I_{\text{ТА}}$, где $I_{\text{ТА}}$ - 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.

В работе предложена новая постановка оптимизационной задачи дискретного программирования, при этом целевая функция - стоимость проектирования, строительства и эксплуатации системы промышленного водоснабжения:

$$C_p = \min \left\{ \sum_{m \in I_j^{\text{ТА}}} \sum_n (C_{jmn}^D + C_{jmn}^W + C_{jmn}^Э) x_{jmn} + C_j^{\Pi} + C_j^H \right\}, \quad j = \overline{1, J}, \quad (9)$$

где булева переменная оптимизации:

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

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:

$$1. \sum_{n=1}^{M_r} x_{jmn} = 1, \quad m \in I_j^{\text{ТА}}, \quad j = \overline{1, J}, - \text{ условие единственности выбора моделей}$$

аппаратов для каждого типа оборудования.

2. $V_j \leq V_j^{\text{доп}}$, $j = \overline{1, J}$, - параметры воды на выходе системы S_j должны отвечать нормам СанПиН, либо требованиям технологического процесса выпуска продукции.

3. $d_{mnk} x_{jmn} \leq d_{mnk}^{\text{доп}}$, $k = \overline{1, K_{mn}}$, $\forall m, n$ - соответствие параметров оборудования заданным границам, K_{mn} - число параметров n -й модели m -го типа аппарата j -го варианта оборудования системы водоснабжения.

Задача (9) с указанными ограничениями относится к классу задач дискретного программирования, и для небольшой размерности решение может быть найдено полным перебором. Для реальной целевой региональной программы характерны значения $J = 3 - 10$, $|I_{\text{ТА}}| = 10 \div 50$, $|I_{\text{МА}}| = 5 \div 10$.

В этом случае используется метод ветвей и границ, реализованный в программе bintprog в версии Toolbox Optimization 3.0 MATLAB 7.

В четвертой главе приведены результаты применения разработанных моделей и алгоритмов при проектировании объектов промышленного и бытового водоснабжения. Описан программный комплекс системы поддержки принятия решений по технологиям водоподготовки.

При внедрении разработанных системных моделей и алгоритмов для региональной программы «Чистая вода» были проанализированы и классифицированы все города и муниципальные районы Самарской области. Было рассмотрено 58 объектов водоснабжения с целью обоснования включения в целевую региональную программу. Методология DEA апробирована на предпроектных этапах 11 объектов водоснабжения в различных районах Самарской области при определении размеров бюджетного инвестирования. Показано, что для этих объектов отклонения не превысили 10% по сравнению с окончательными затратами, тогда как для остальных объектов отклонения лежали в диапазоне от 5 % до 23 %.

Для 10 проектов систем промышленного водоснабжения, выполненных с помощью ИСППР ТВ, проведено сравнение сроков и стоимости с аналогичными проектами, реализованными ранее в предыдущие годы. Показано, что практическое применение полученных в диссертации результатов позволило снизить стоимость проектов в среднем на 16% и сократить время выполняемых проектов на 20%.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты и выводы работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен системный анализ водохозяйственного комплекса Самарской области, изучен жизненный цикл целевой региональной программы водоснабжения и водоотведения. На основе выполненных исследований предложена общая архитектура интеллектуальной системы поддержки принятия решений по технологиям водоснабжения.

2. Поставлена и решена задача системного анализа объектов промышленного и бытового водоснабжения с целью их комплексной оценки. Отличительной особенностью является использование методологии DEA для оценки эффективности, а также методика построения искусственных эффективных объектов водоснабжения для определения направления технологического развития систем водоснабжения.

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

4. Решена задача оптимизации параметров технологических схем системы промышленного водоснабжения на предпроектных этапах.

5. Проведены эксперименты по принятию решений при реализации 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 водоснабжения.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Список публикаций в изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК РФ

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. 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.

Список публикаций в других журналах, сборниках научных трудов, материалах международных и всероссийских научных конференций

7. 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.

8. 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

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

16. 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.

Автореферат отпечатан с разрешения диссертационного совета Д212.217.03
(протокол № 8 от 23.10.2014 г.)

Формат 60x84 1/16. Усл. п. л. 1,00. Тираж 100 экз. Заказ №
Отпечатано в типографии Самарского государственного технического университета
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244.