

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи
УДК [556.3.072] 575.1

УСМАНОВ РИШАТ НИЯЗБЕКОВИЧ

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ В
УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ
(на примере гидрогеологических систем)

Специальность 05.13.18 – Теоретические основы математического
моделирования

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

ТАШКЕНТ – 2008

Работа выполнена в Ташкентском университете
информационных технологий

Научный консультант – доктор физико-математических наук,
академик АН РУз Абуталиев Фарадей Басирович

Официальные оппоненты: доктор технических наук

Аликин Файзиевич

А	А/2446
У757	Усманов Р.
Моделирование	
и управл. сложн...	

Ведущая организация

Т. 2008

Б/У

информационный

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. Анализ современного состояния проблемы математического моделирования сложных систем (СС) показывает, что достигнутые в последние годы значительные достижения в этой области связаны с синтезом достижений традиционных научных исследований и перспективной технологии переработки информации, предложенной академиком А.А.Самарским - "Вычислительный эксперимент" (ВЭ), интеллектуальное ядро которого представляет триада "математическая модель – алгоритм – программа".

Весьма важным в этой связи является дальнейшее совершенствование методологии математического моделирования сложных процессов на базе современных информационных технологий, включая вопросы разработки математических моделей сложных систем и соответствующих алгоритмов их реализации на основе приобретения, представления и обработки данных и знаний, выраженных в форме вербальных характеристик параметров моделируемых процессов и объектов, а также их функциональных взаимосвязей.

Кроме того, актуальными являются вопросы развития методологических и теоретических основ математического моделирования сложных систем в условиях нечеткой исходной информации, на базе интеграции современных информационных технологий, методов исследования и обеспечения непосредственного участия лица, принимающего решения (ЛПР) в контур системы принятия решений. Интеграция в данном случае понимается как объединение всех способов формализации характеристик СС (концептуальных, количественных, качественных, в том числе нечетких) в рамках единой вычислительной системы с целью обеспечения их целенаправленного взаимодействия для эффективного функционирования исследуемой системы в целом.

Степень изученности проблемы. В настоящее время накоплен огромный опыт решения крупных народнохозяйственных задач с применением математического моделирования, хорошо формализуемых количественных характеристик исследуемых объектов. Обоснованность принимаемых решений на объектах, характеризующихся интенсивным воздействием техногенных факторов, к сожалению, имеющих повсеместный характер, зависит от качества информации о параметрах объекта исследований. В таких условиях проведение многократных статистических экспериментов по измерению параметров исследуемого объекта практически невозможно. В то же время значительная часть информации, касающейся объекта исследований, в таких случаях имеет нечеткий вид, т.е. представлена в виде опыта, знаний и мнений специалистов в этой области. В таких случаях возможности традиционных методов моделирования являются ограниченными, что объясняется их ориентацией в основном на использование информации числового характера. Одним из путей решения таких проблем является применение методологии математического

моделирования слабоформализуемых процессов (СФП), основанных на принципах теории нечетких множеств (ТНМ), предложенной американским ученым Л.Заде в 1965 г. Дальнейшее внедрение принципов ТНМ в процессы моделирования СФП связано с доказанной Б.Коско теоремой FAT-Fuzzy Approximation Theorem, согласно которой любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике. Теоретические основы нечеткого моделирования СФП развиты в работах Р.Ягера, Д.Дюбуа, А.Прада, Т.Саати, Е.Санчеса, Б.Фазлollahи, М.Джамшиди, Е.Мамдани, М.Сугэно, Д.А.Поспелова, А.Н.Аверкина, А.П.Ротштейна и других ученых.

Значительный вклад в развитие методологии нечеткого моделирования и интеграции теории нечетких множеств в решение крупных народнохозяйственных задач внесли такие ученые Узбекистана, как В.К.Кабулов, Ф.Б.Абуталиев, Т.Ф.Бекмуратов, Н.Р.Юсупбеков, Р.З.Салахутдинов, М.А.Рахматуллаев, Н.А.Игнатъев, А.З.Марахимов, М.Я.Мухатдинов, Д.Т.Мухаммадиева и др.

Несмотря на важность рассматриваемой проблемы, в настоящее время единая научно обоснованная методология математического моделирования сложных процессов в условиях нечеткой исходной информации еще не полностью сложилась, что связано с решением ряда методологических, организационных и научных задач.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Диссертация выполнена в соответствии с фундаментальной темой ГККНТР РУз БВ Ф1-018 «Разработка и реализация математических моделей сложных систем и их управление в условиях нечеткой информации», выполняемой на кафедре высшей математики ГУИТ с 01.07.2007г. по 30.12.2011г.

Цель исследования. Разработка и развитие научных основ математического моделирования сложных процессов в условиях нечеткой исходной информации, а также построение нечетких, нечетко-детерминированных моделей и комплекса программ для их реализации в процессе решения задач, связанных с определением, диагностикой и прогнозированием состояний СС при различных условиях функционирования.

Задачи исследования. Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи:

- анализ современного состояния проблемы моделирования сложных систем в условиях нечеткой исходной информации;
- разработка концепции нечеткого моделирования СС;
- разработка информационно-логических моделей представления моделируемых объектов, основываясь на принципах целостности субъекта и объекта на базе принципов ТНМ;
- исследование характера неопределенностей и способов представления нечетких параметров для класса задач, допускающих формализацию в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем;

- разработка единой нечетко-детерминированной модели изменений гидрогеохимического состояния крупных территорий и обоснования условий ее реализации в зависимости от характера решаемых задач;

- разработка комплекса алгоритмов и программ для решения прямых и обратных задач геофильтрации в плановой и планово-профильной постановках в условиях нечеткой исходной информации;

- обоснование технологических схем функционирования водозаборов подземных вод (ВПВ) в условиях нечеткой исходной информации;

- разработка нечетко-логической методики и модели дифференциальной диагностики состояний СС и их применение в процессе диагностики состояний гидрогеологических систем (ГТС);

- разработка системно-нечетких моделей состояний ГТС для комплексного исследования их изменений и принятия решения с точки зрения различных проблем: мелиоративной, водоохраной и экологической;

- применение разработанных нечетких, нечетко-детерминированных математических моделей и комплекса программ в процессе решения конкретных задач;

- разработка методологии конструирования системы организации мониторинга СС в условиях нечеткой исходной информации.

Объектом и предметом исследований являются сложные системы и вопросы их формализации в условиях нечеткой информации.

Методы исследований. Методика исследований основана на комплексном анализе и обобщении данных исследований СС, системном анализе и проведении ВЭ в процессе принятия решений (ПР) с использованием современных информационных технологий и инструментальных средств: ГИС, Matlab 6.5, Fuzzy Logic Toolbox, ADVIZER-2000.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана концепция нечеткого моделирования СС, основанная на применении нечетко-множественных методов сбора, формализации и агрегирования нечеткой информации.

2. Разработаны научные основы применения нечетко-множественного подхода в процессе решения класса задач, допускающих формализацию в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем.

3. Разработана единая нечетко-детерминированная модель изменений гидрогеохимического состояния гидрогеологических объектов, комплекс алгоритмов и программ для ее реализации в процессе решения конкретных задач.

4. Разработаны нечетко-множественный алгоритм и программа решения задач параметрической идентификации геофильтрации в условиях нечеткой исходной информации.

5. Разработаны алгоритмы и программы формирования информационно-технологической модели области фильтрации и нечетко-информационной

модели процесса фильтрации, предназначенные для организации и проведения вычислительного процесса, ВЭ и выбора рациональных решений.

6. Решены задачи, связанные с обоснованием технологических схем ВПВ в условиях нечеткой исходной информации с определением коэффициентов фильтрации грунтового водоносного горизонта Кибрайского водозабора; технологии распреснения аномалий высокоминерализованных подземных вод Куванышджарминского месторождения Южного Приаралья.

7. Разработана научно-обоснованная методология проектирования нечетко-логической модели диагностики СС для решения задач диагностирования ГТС и нечеткой оценки состояния службы маркетинга телекоммуникационных предприятий.

8. Разработана нечеткая системная модель оценки защищенности подземной гидросферы на основе применения программного комплекса Fuzzy Logic Toolbox среды программирования Matlab 6.5.

9. Разработана трехуровневая система мониторинга сложными системами на примере нечеткого моделирования условий функционирования ВПВ, включая диагностику состояний объекта и принятие решений на основе анализа ситуаций (возможных, типовых, эталонных).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Концепция нечеткого моделирования СС, основанная на применении принципов теории нечетких множеств в процессе сбора, формализации и агрегирования нечеткой исходной информации и определении стратегии принятия решений.

2. Научно обоснованная методика интеграции нечетко-множественного подхода для решения класса задач, допускающих формализацию в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем, единая нечетко-детерминированная модель изменений гидрогеохимического состояния гидрогеологических объектов (ГГО), комплекс алгоритмов и программ ее реализации при различных условиях, а также результаты решения конкретных задач.

3. Нечетко-логические модели гидрогеологических систем для решения задач комплексного характера, когда объектом исследований является вся проблемная область, характеризующая доминированием информации нечеткого характера, и позволяющие принимать решения на основе состояний СС с позиций разных проблем: мелиоративной, охранной, экологической.

4. Трехуровневая система мониторинга, позволяющая принимать оперативные решения на основе ситуационного анализа состояний СС в различных условиях их функционирования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке концепции нечеткого моделирования СС, основанной на использовании нечеткой информации, которая выражается в виде нечетких представлений специалистов-экспертов о структуре и содержании исследуемой системы, алгоритмов и программ интеграции принципов ТНМ для моделирова-

ния и принятия решений для класса задач, допускающих формализации в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем, а также трехуровневой системы мониторинга СС в условиях нечеткой исходной информации.

Практическая значимость результатов исследований заключается в получении приближенных решений для объектов, характеризующихся низкой информативностью и недостаточной изученностью, т.е. в получении новой информации о моделируемом объекте, для которого существуют проблемы организации и проведения реальных физических наблюдений.

Реализация результатов. Методика нечеткого моделирования сложных процессов апробирована на объектах ПО Узбекгидрогеология. Решены задачи комплексного исследования водно-солевого режима подземных вод Джизакской степи, моделирования гидрогеологических условий Куванышджарминского месторождения подземных вод Южного Приаралья, Кибрайского водозабора. Экономический эффект от внедрения результатов диссертации составляет 3 миллиона 390 тысяч сум.

Апробация работы. Теоретические и прикладные аспекты диссертации обсуждены на: Всесоюзном научном семинаре “Математическое моделирование гидрогеологических процессов” (Душанбе, 1988); Республиканской конференции “Современные проблемы алгоритмизации” (Ташкент, 1991); Республиканском научно-практическом семинаре “Актуальные проблемы распространения волн в многофазных сплошных средах” (Ташкент, 1999); Всемирной конференции WGIS (Ташкент, 2000); Всемирной конференции WGIS (Ташкент, 2000); Республиканской научной конференции “Математическое моделирование и вычислительный эксперимент” (Ташкент, 2002); Международной научной конференции “Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе” (Ташкент, 2003); Международной научной конференции “Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании” (Ташкент, 2004); Международном симпозиуме “Загрязнение пресных вод аридной зоны: оценка и уменьшение” (Ташкент, 2004); Республиканской научной конференции “Современные проблемы математического моделирования” (Нукус, 2005); Республиканском научно-практическом семинаре “Информационные технологии в науке и образовании” (Ташкент, 2005); Республиканской научно-практической конференции “Информационно-коммуникационные технологии в науке и образовании” (Ташкент, 2006); 4-й Всемирной конференции “Интеллектуальные системы для индустриальной автоматизации-WCIS-2006” (Ташкент, 2006); объединенном научном семинаре “Программное обеспечение информационных технологий” факультета информационных технологий ТУИТ (Ташкент, 2007); Ученом совете института ГИДРОИНГЕО (Ташкент, 2007); заседании объединенного научного семинара кафедр «Автоматизация производственных процессов» и «Автоматизация и управление» Ташкентского Государственного технического университета

имени Абу Райхана Беруни (Ташкент, 2007); объединенном научном семинаре "Математическое моделирование" ТУИТ (Ташкент, 2008); ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава ТУИТ (Ташкент, 1998-2008).

Публикации. Материалы диссертации отражены в 43 опубликованных работах, написанных автором самостоятельно и в соавторстве. Из них 16 - в журналах, 2 свидетельства об официальной регистрации программ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации - 248 страниц текста, включая 62 рисунков и 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

Первая глава диссертации посвящена разработке концепции нечеткого моделирования сложных систем в условиях нечеткой исходной информации.

Современное состояние проблемы моделирования сложных систем достигнуто благодаря результатам фундаментальных исследований по численному моделированию сложных процессов в решении различных народнохозяйственных задач, разработке автоматизированных систем моделирования и информационного обеспечения сложных систем.

Основная проблема в процессе моделирования сложных процессов, происходящих особенно в объектах народного хозяйства и подверженных интенсивному воздействию техногенных факторов - это сложность и неопределенность, объясняемая недостаточностью информации, отсутствием адекватных методов идентификации объекта, незнанием состояний и связанная с этим неопределенность целей и критериев выбора решений.

Следует отметить ограниченность традиционных методов моделирования в таких условиях, объясняемая, прежде всего, их ориентированностью в основном на использование информации числового характера. В то же время значительная часть информации о моделируемом объекте, представленная в виде описания параметров среды, опыта, знаний, мнений специалистов-экспертов, имеющая лингвистический, вербальный характер, используется косвенно, слабо или попросту отбрасывается из-за невозможности ее непосредственного использования в традиционных методах моделирования. Вместе с тем прямое, а не косвенное, использование информации нечеткого характера в процессах моделирования или принятия решений, позволяет повысить степень обоснованности принимаемых решений, расширить круг решаемых задач с помощью традиционных детерминированных моделей.

Этим объясняется поиск путей сбора, систематизации и обработки такой информации с целью использования полученных результатов для повы-

шения адекватности принимаемых решений, упрощения моделей сложных процессов, поскольку усложнение модели приведет к повышению уровня требований к исходной информации, что реально не может быть выполнено. Поэтому для формализации состояния СС перспективным является построение ее нечеткой модели. Под нечеткой моделью СС понимается информационно-логическая модель, построенная на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики (А.В.Леоненков, 2003).

Процесс разработки нечеткой модели СС включает в себя этапы, связанные с разработкой нечеткой концептуальной, математической и информационной моделей. В процессе концептуального моделирования определяются система целей, постановка задачи моделирования и методологическая база нужного класса моделей. Вопрос выбора способа моделирования зависит от степени изученности и информационной обеспеченности объекта исследования. Непосредственное использование информации экспертного характера, представленного в лингвистической форме, является важным моментом интеллектуализации процесса принятия решений на всех этапах моделирования. При этом представление предметной области и моделируемого процесса осуществляется путем проектирования нечеткой информационно-логической модели объекта.

Необходимость принятия упрощений различного уровня привела к системному представлению сложных объектов в зависимости от их функционирования, характера и цели исследований.

Системный подход при прогнозировании любых явлений и процессов позволяет одновременно учитывать и сочетать количественные, качественные и структурные связи, иногда даже не поддающиеся формализации. Например, системное моделирование ГГС осуществляется на основе совместного рассмотрения основных характеристик ее структуры - гидрогеологической, гидродинамической, гидрохимической. Первое понятие определяется соотношением водоносных и водоупорных горизонтов, второе - гидродинамической сеткой движения подземных вод, а третье понятие является следствием гидрогеологических и гидродинамических аспектов структуры ГГС, выражающихся в пространственном перераспределении и накоплении солей в подземной гидросфере (У.У.Умаров, Л.З.Шерфединов, 1984).

В этой связи перспективным для моделирования СС является применение нечетко-множественного подхода, позволяющего непосредственно использовать всю доступную информацию (количественную, качественную) и опирающегося на системный анализ СС и его составляющих в процессе ПР на всех этапах моделирования.

В настоящее время достигнуты значительные успехи, связанные с разработкой научных основ и внедрением ТНМ в такие области, как искусственный интеллект, лингвистика, медицина, психология, экономика, социальные системы, химическая технология и др.

Методология нечеткого моделирования СС - новое направление системного моделирования, позволяющее адекватно представлять различные факторы неопределенности, возникающие при анализе структуры и поведения СС.

В диссертации детально исследованы вопросы системного представления гидрогеологических объектов и его связей; систематизированы понятия гидродинамической и гидрохимической структур ГТС и даны принципы их схематизации в условиях нечеткой исходной информации; рассмотрены вопросы интеллектуализации процесса нечеткого моделирования ГТС и ее связей.

Вторая глава работы посвящена исследованию основ интеграции ТНМ в процесс моделирования СС.

Проанализированы причины возникновения неопределенностей, характерных для СС, исследованы вопросы оценки степени и характера неопределенности (параметрическая, структурная, ситуационная). Непосредственное использование нечеткой исходной информации в условиях неопределенности на базе применения методов ТНМ является перспективным инструментом для снятия неопределенности. В этой связи подробно излагаются основные этапы нечеткого моделирования ГТС:

- фазификация влияющих факторов;
- проектирование нечеткого логического вывода;
- дефазификация.

Приводится анализ различных видов функций принадлежности (ФП) (кусочно-линейные, Z- и S-образные и т.д.) с целью выбора наилучшей аппроксимации гидрогеологических параметров. Пусть \tilde{K} - нечеткое значение коэффициента фильтрации $K(x, y)$ для некоторой точки (x^*, y^*) подземной гидросферы. Приводится алгоритм нечеткого представления значений \tilde{K} , путем представления \tilde{K} в трапецевидной или треугольной формах. При этом осуществляется переход к α -уровневому описанию:

$$\tilde{K} = \bigvee_{\alpha \in [0,1]} (\underline{K}_\alpha, \overline{K}_\alpha) \quad (1)$$

где $\underline{K}_\alpha, \overline{K}_\alpha$ - нижняя и верхняя границы нечеткого числа \tilde{K} на α -уровне.

Путем увеличения значения α производится настройка нечеткого параметра \tilde{K} за счет уменьшения ширины ядра $[\underline{K}_\alpha, \overline{K}_\alpha]$. Предлагается методика представления нечетких параметров среды в нечеткой форме и перехода от лингвистических оценок этих параметров к числовым.

Далее рассматриваются вопросы нечеткого моделирования сложных объектов в условиях, когда полностью или частично отсутствует числовая информация о моделируемом объекте, т.е. ПР основывается в основном на информации качественного характера, представленной в виде знаний и опыта специалистов-экспертов. Для ГТС такая информация может включать мнe-

ния экспертов о границах, степени дренированности области фильтрации (ОФ), о зонах формирования и разгрузки потоков поземных вод, мощности зоны аэрации, условиях взаимодействия грунтового и напорного водоносных горизонтов, о характере техногенных факторов, литологии пластов и т.д.

Также исследованы особенности нечеткого моделирования гидрогеологических процессов с использованием системы нечеткого логического вывода Fuzzy Logic Toolbox (FLT) программной среды Matlab 6.5.

Для проектирования нечетко-логической модели ГТС предпочтение отдано модели типа Мамдани благодаря тому, что правила базы знаний для данного типа нечетких моделей являются прозрачными и интуитивно понятными.

Предлагается методика проектирования информационно-технологической и информационно-логической моделей предметной области на основе ситуационного анализа изменений исследуемой системы. При этом основной целью проектирования нечетких информационных моделей являются реализация концептуальных представлений экспертов о структуре и содержании исследуемой системы, возможных действий ЛПР в зависимости от конкретных ситуаций, организация процесса численного моделирования и ВЭ, а также получение новой информации о моделируемом объекте, которую не дают натурные эксперименты. При этом ВЭ, основанный на проектировании продукционных моделей типа Мамдани, осуществляется на базе пакета FLT.

Третья глава диссертации посвящена вопросам интеграции нечетко-множественного подхода в процесс численного моделирования геофильтрационных и гидрогеохимических процессов в условиях нечеткой исходной информации.

Проанализированы проблемы математического моделирования гидрогеологических процессов, для чего детально рассмотрены результаты фундаментальных исследований по численному моделированию геофильтрационных и гидрохимических процессов, и работы по разработке автоматизированных систем моделирования и информационного обеспечения ГТС.

Математическое моделирование сложных процессов в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем, основанных на законах сохранения и неразрывности потоков субстанций, имеет широкое применение при решении многих народнохозяйственных задач, связанных с разработкой крупных газовых и нефтяных месторождений, при организации промышленного производства вод необходимого качества и количества из месторождений подземных вод, при управлении сложными системами. Однако эти и без того сложные задачи усложняются неопределенностями, возникающими при определении начальных состояний и граничных условий сложных объектов, особенно в условиях воздействия техногенных факторов. При этом получение числовой информации необходимого

количества и качества о параметрах исследуемого объекта не всегда достигается, что объясняется невозможностью организации необходимых условий для проведения дорогостоящих опытов по измерению параметров объекта, противоречивостью и малой достоверностью полученной в таких условиях информации, а также недостаточностью сети наблюдательных скважин. Поэтому вопрос построения детерминированной модели гидрогеологического процесса и интерпретации полученных числовых оценок параметров как однозначных в таких условиях не имеет смысла. Следуя Ю.М.Денисову (1996) в таких условиях за искомое можно принять наиболее правдоподобное или вероятное в рассматриваемый момент времени решение, полученное путем агрегирования нечетких решений.

Интеграция методов ТНМ в процессе математического моделирования СС для класса задач, допускающих формализации в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем, является перспективным направлением повышения степени адекватности результатов моделирования, принятия решений. В некоторых случаях, при наличии нечисловой и неполной информации в виде экспертных суждений, существует возможность формализации этих знаний и их применения на основе принципов ТНМ и нечеткой логики. В данной главе диссертации, на примере математического моделирования гидрогеологических процессов, рассматриваются вопросы разработки нечетко-множественных методов сбора, формализации и агрегирования нечеткой информации, построения нечетких моделей параметров и изучения характеристик исследуемых процессов.

В диссертации исследованы возможности повышения степени адекватности существующих моделей геофильтрации и переноса солей на основе принципов ТНМ, заключающегося в использовании в процессе моделирования:

- функций принадлежности вместо нечетко заданных параметров;
- опыта, интуиции и знаний специалистов-экспертов в процессе принятия решений на всех этапах процесса моделирования - геофильтрационной, миграционной схематизации области фильтрации, решения идентификационных задач, обоснования граничных условий.

Исходя из сущности задач гидрогеологического прогнозирования для типичных условий аридной зоны, обоснована единая нечетко-детерминированная математическая модель взаимосвязи гидродинамических и гидрохимических режимов грунтового и напорного водоносных горизонтов в виде следующей системы дифференциальных уравнений фильтрации и физико-химической гидродинамики:

$$\mu \frac{\partial \tilde{h}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{K} \tilde{h} \frac{\partial \tilde{h}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\tilde{K} \tilde{h} \frac{\partial \tilde{h}}{\partial y} \right) - \tilde{K}_z \frac{\tilde{h} - \tilde{H}}{\tilde{h} - z} \pm E, \quad (2)$$

$$\mu \cdot \frac{\partial \tilde{H}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{T} \frac{\partial \tilde{H}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\tilde{T} \frac{\partial \tilde{H}}{\partial y} \right) + \tilde{K}_z \frac{\tilde{h} - \tilde{H}}{\tilde{h} - z}, \quad (3)$$

$$n_1 \frac{\partial \tilde{c}_1}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{D} \frac{\partial \tilde{c}_1}{\partial x} - \tilde{v}_x \tilde{c}_1 \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\tilde{D} \frac{\partial \tilde{c}_1}{\partial y} - \tilde{v}_y \tilde{c}_1 \right) \pm \frac{\partial \tilde{N}_1}{\partial t}, \quad (4)$$

$$n_2 \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial z} \right) - \frac{\partial (\tilde{v}_z \tilde{c}_2)}{\partial x}, \quad (5)$$

$0 \leq z < m_1,$
 $m_1 < z \leq L,$

$$\frac{\partial \tilde{N}_1}{\partial t} = \varphi(\tilde{c}_1, \tilde{N}, C_1^*, N^*, \gamma, \gamma_{\dots}). \quad (6)$$

Начальные и граничные условия для систем (2) - (6) определяются природной гидрогеологической обстановкой:

$$\tilde{h}(x, y, 0) = \tilde{h}_0(x, y), \quad \tilde{H}(x, y, 0) = \tilde{H}_0(x, y), \quad (x, y) \in D, \quad (7)$$

$$\alpha_1 \left(\tilde{K}h \frac{\partial \tilde{h}}{\partial n} \right) + \beta_1 \tilde{h} = \tilde{\gamma}_1(x, y, t), \quad \alpha_1^2 + \beta_1^2 > 0, \quad (8)$$

$$\alpha_2 \left(\tilde{T} \frac{\partial \tilde{H}}{\partial n} \right) + \beta_2 \tilde{H} = \tilde{\gamma}_2(x, y, t), \quad \alpha_2^2 + \beta_2^2 > 0, \quad (9)$$

$$\tilde{c}_1(x, y, 0) = \tilde{c}_{10}(x, y), \quad (x, y) \in D, \quad (10)$$

$$\tilde{c}_2(x, z, 0) = \tilde{c}_{20}(x, z), \quad m_1 \leq z \leq m, \quad 0 \leq x \leq l, \quad (11)$$

$$\tilde{N}(x, z, 0) = \tilde{N}_0(x, z), \quad 0 \leq z \leq m_1, \quad 0 \leq x \leq l, \quad (12)$$

$$\tilde{v}_z(\tilde{c}_1 - \tilde{c}_2) = \tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_1}{\partial z}, \quad z = 0, \quad t > 0, \quad (13)$$

$$\tilde{c}_1(x, z, t)|_{z=m_1, 0} = \tilde{c}_2(x, z, t)|_{z=m_1, 0}, \quad (14)$$

$$\left(\tilde{c}_1 \tilde{v}_z - \tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_1}{\partial z} \right) \Big|_{z=m_1, 0} = -\tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial z} \Big|_{z=m_1, 0}, \quad (15)$$

$$\left(\tilde{v}_z \tilde{c}_2 - \tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial z} \right) \Big|_{z=L} = 0, \quad (16)$$

$$\left(\tilde{v}_z \tilde{c}_2 - \tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial x} \right) \Big|_{x=0} = 0, \quad (17)$$

$$\left(\tilde{v}_z \tilde{c}_2 - \tilde{D}_z \frac{\partial \tilde{c}_2}{\partial x} \right) \Big|_{x=l} = 0. \quad (18)$$

Здесь приняты следующие обозначения: $\tilde{h}(x, y, t), \tilde{H}(x, y, t)$ - нечеткие уровни соответственно грунтовых и напорных вод; z^* - вертикальная координата ложа покровного слоя; $\tilde{T} = \tilde{K} \tilde{m}$ - нечеткая водопроницаемость; \tilde{K}_1 - коэффициент фильтрации; \tilde{m} - мощность нижнего пласта; \tilde{K}_2 - коэффициент фильтрации покровного слоя; E - модуль питания грунтовых вод (ГВ); $\tilde{K}(x, y)$ - нечеткий коэффициент фильтрации безнапорного водоносного гори-

зонта; $\tilde{C}_1(x, z, t), \tilde{C}_2(x, z, t), \tilde{N}(x, z, t)$ - нечеткие значения концентрации солей в грунтовых и напорных водах, а также в твердой фазе; $\tilde{h}_0(x, y), \tilde{H}_0(x, y), \tilde{\gamma}_1(x, y), \tilde{\gamma}_2(x, y), \tilde{C}_{10}(x, y), \tilde{C}_{20}(x, z), \tilde{N}_0(x, z)$ - заданные функции; n_1, n_2 - активная пористость грунтов в соответствующих зонах; L, l - глубина и длина расчетного пласта; m_1, m_2 - мощности покровного нижнего слоя; $\tilde{V}_x, \tilde{V}_z, \tilde{D}_x, \tilde{D}_z$ - нечеткие коэффициенты конвективной диффузии солей в соответствующих зонах по x и z ; C_1^*, N^* - равновесные концентрации солей в жидкой и твердой фазах; $\gamma_0, \gamma_{\infty}$ - параметры, характеризующие диффузионную и химическую стадии кинетики массообмена; γ_0 - константа изотермы. Параметры $C_1^*, N^*, \gamma_0, \gamma_{\infty}$ входят в состав уравнений неравновесного и равновесного массообмена типов в зависимости от стадии формирования гидрохимического режима ГВ - растворение солей, солеобмен между жидкой и твердой фазами системы «поровые растворы - почвогрунты», ионный обмен и т.д.

Реализация краевой задачи (2) - (18) осуществляется на базе применения локально-одномерного метода А.А. Самарского для гидродинамической части, векторно-разностной схемы И.В. Фрязинова для решения гидрохимической части задачи. При этом получаемые системы разностных уравнений фильтрации и массопереноса реализуются на основе метода совместной прогонки, предложенной Ф.Б. Абуталиевым (1972). Отметим, что, для реализации краевой задачи (2) - (18) при решении конкретных задач целесообразно использование нечетких мнений специалистов-экспертов о характере решаемой задачи, литологии пластов, об особенностях формирования гидродинамического и гидрохимического режимов ГВ, взаимодействиях грунтового и напорного водоносных горизонтов. С учетом этих принципов, процесс реализации краевой задачи (2) - (18) осуществляется в следующей последовательности:

1. Для зоны формирования ГВ моделируется процесс неустановившейся фильтрации грунтовых вод в плане.
2. Для зоны транзита основное внимание уделяется моделированию взаимосвязи грунтового и напорного водоносных горизонтов.
3. Для зоны разгрузки с учетом того, что здесь процессы фильтрации существенно замедляются и процесс изменения гидрохимического состояния подземной гидросферы зависит от солеобмена между грунтовыми и напорными горизонтами, процесс решения геофильтрационной задачи осуществляется по схеме Мятлева-Гириного в одномерной постановке (в плане), а процессы переноса солей - в двумерной постановке (в разрезе).

Такой подход позволит значительно упростить алгоритм реализации краевой задачи (2) - (18) и эффективно использовать ресурсы оперативной памяти ПЭВМ.

Разработаны вычислительные алгоритмы для интеграции нечеткого множественного подхода в процесс моделирования процессов фильтрации и переноса солей в сложных гидрогеологических условиях.

В работе исследованы вопросы применения уравнений равновесного и неравновесного массообмена для численного моделирования солеобмена в системе « поровые растворы – почвогрунты ». Предложены вычислительные алгоритмы для исследования процесса переноса двух- и трех- разновалентных катионов, решены тестовые примеры.

Реализация двумерного (в плане) уравнения солепереноса из системы (2) - (18) осуществляется путем последовательного применения локально-одномерной и векторно-разностных схем.

Так, на первом этапе, применяя локально-одномерную схему для двумерного уравнения солепереноса типа (4) или (5), получаем систему одномерных уравнений солепереноса:

$$\left. \begin{aligned} n_{(1)} \frac{\partial C_{(1)}}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{(1)} \frac{\partial C_{(1)}}{\partial x} \right) - g_{(1)} \frac{\partial C_{(1)}}{\partial x} + f_{(1)} C_{f(1)} - pw_{(1)} C_{(1)} \\ n_{(2)} \frac{\partial C_{(2)}}{\partial \tau} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{(2)} \frac{\partial C_{(2)}}{\partial y} \right) - g_{(2)} \frac{\partial C_{(2)}}{\partial y} + f_{(2)} C_{f(2)} - pw_{(2)} C_{(2)} \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

$$\tau_k \leq \tau \leq \tau_{k+1}, \quad f_{(1)} C_{f(1)} + f_{(2)} C_{f(2)} = f C_f,$$

$$P(W_{(1)} C_{(1)} + W_{(2)} C_{(2)}) = PWC$$

с начальными условиями:

$$C_{(1)} = C(x, y, k, \tau), \quad C_{(2)} = C_{(1)}(x, y, (k+1)\tau). \quad (20)$$

В системе (19) введены следующие обозначения:

$$D_{(1)} = D_x h_{(1)}, \quad D_{(2)} = D_y h_{(2)}, \quad g_{(1)} = g_x h_{(1)}, \quad g_{(2)} = g_y h_{(2)},$$

$$n_{(1)} = \mu(1+\Gamma)h_{(1)}, \quad n_{(2)} = \mu(1+\Gamma)h_{(2)}.$$

Здесь $h_{(1)}, h_{(2)}$ – уровни грунтовых вод, получаемые из решения фильтрационной задачи; g_x, g_y, D_x, D_y – значения скоростей фильтрации и коэффициентов конвективной диффузии солей по направлениям x и y .

Для реализации получаемых при таком расщеплении одномерных уравнений солепереноса применяются векторно-разностные схемы:

$$\left. \begin{aligned} n_{(i)} \frac{U_{(i)}^{k+1} - U_{(i)}^k}{\tau} &= \wedge_i U_{(i)}^{k+1} - U_{(i)}^{k+1} \lambda_{11}^{(i)} W_{(i)}^{k+1} + f_{(i)} C_{f(i)} - P \tilde{W}_{(i)} U_{(i)}, \\ n_{(i)} \frac{W_{(i)}^{k+1} - W_{(i)}^k}{\tau} &= \wedge_i W_{(i)}^{k+1} - V_{(i)}^{k+1} \lambda_{12}^{(i)} U_{(i)}^{k+1} + f_{(i)} C_{f(i)} - P \tilde{W}_{(i)} W_{(i)}, \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

где

$$\begin{aligned} & (f_{(i)}^C C_{f(i)} + f_{(i)}^{\prime} C_{f(i)}) / 2 = f_{(i)} C_{f(i)}, \quad P(\bar{w}_{(i)} U_{(i)} + \bar{w}_{(i)}^{\prime} W_{(i)}) = P W_{(i)} C, \\ & \lambda_{11}^{(i)} = \begin{cases} \lambda_{x^*}, & g_{(i)}^{k+1} > 0 \\ \lambda_{x^*}, & g_{(i)}^{k+1} < 0 \end{cases} \quad \lambda_{12}^{(i)} = \begin{cases} \lambda_{x^*}, & g_{(i)}^{k+1} > 0, \\ \lambda_{x^*}, & g_{(i)}^{k+1} < 0, \end{cases} \quad (22) \\ & \wedge_i U_i = (D_{(i)}(x^*, \tau) U_{(i)} \bar{x}^*) x^*, \quad U_{(i)} = \begin{pmatrix} U_{(i)} \\ W_{(i)} \end{pmatrix}, \quad x^* = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, \quad i = 1, 2. \end{aligned}$$

Для проведения комплексной геофильтрационной и миграционной схематизации условий фильтрации, переноса солей и идентификации гидрогеологических параметров предлагается методика, основанная на проектировании нечеткой базы знаний и построения ФП нечетко заданных гидрогеологических параметров. При этом переход от L , т.е. лингвистической формы нечеткого параметра, к треугольному или трапецидальному типу осуществляется в зависимости от масштаба рассматриваемого процесса ширины зон неоднородности пласта по проводимости.

Обратные задачи геофильтрации относятся к классу некорректных задач и решаются путем приведения их к условно корректным (А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенин, 1974). При этом используются различные критерии физического правдоподобия, уменьшающие неопределенности при подборе параметров. В частности, в гидрогеологической практике широко применяются различные диапазонные критерии, принимаемые из геологических и гидрогеологических соображений. Применение нечетко-множественного подхода в данный момент позволит адекватно формализовать неоднородные зоны и переходные зоны между ними.

Алгоритм нечеткого определения гидрогеологических параметров на примере определения коэффициента фильтрации $K(x, y)$ состоит из следующих этапов:

- область фильтрации покрывается сеткой (равномерной, неравномерной в плане) с выделением зон неоднородностей;
- для каждой зоны $j, j = \overline{1, N}$ задаются наименьшее \underline{K}^j и наибольшее \overline{K}^j значения $K(x, y)$;
- определяется множество $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$, элементами которого являются нечеткие термы, представленные в L форме, строятся ФП \tilde{K} для всех j ;
- для каждой точки сеточной области задается нечеткое значение $K: \tilde{K} = \langle \underline{K}^j, \overline{K}^j, l \rangle, l \in L$;
- определяются нечеткие оценки (в виде нечетких чисел) \tilde{K} для всех точек сеточной области;

- с использованием количественных оценок K на базе стационарной модели фильтрации подземных вод определяется распределение уровней подземных вод во всех точках сеточной области;

- качество решения обратной задачи проверяется с применением критерия, основанного на минимальной среднеквадратической погрешности между фактическими и модельными уровнями ПВ, и критерия достоверности определения параметров по данным гидрогеологических изысканий с учетом принятого диапазона изменения.

Предложенные алгоритмы нечеткого моделирования гидрогеологических процессов в условиях неопределенности, обусловленной нечеткостью исходных данных, реализованы в виде комплекса программ FVAR в среде Delphi 7 с использованием графических возможностей программного комплекса Surfer.

В состав программного комплекса FVAR входят также программы, реализующие разработанные алгоритмы проектирования информационно-технологической модели области фильтрации и нечетко-логической информационной модели процесса фильтрации, предназначенные для организации непосредственного участия ЛПП в процессе моделирования и вычислительного эксперимента.

В процессе функционирования комплекса FVAR в интерактивном режиме получают:

- информационно-технологическая модель ГТС;
- нечетко-логическая модель процесса геофильтрации ГТС (для условий неполной определенности, полной неопределенности);
- нечеткие распределения параметров ГТС;
- нечеткие распределения уровней степеней минерализации подземных вод ГТС.

Проведена серия ВЭ на базе FVAR по определению гидрогеологических параметров. Полученные результаты свидетельствуют о достаточно высокой степени точности предлагаемых алгоритмов нечеткой идентификации.

Четвертая глава диссертации посвящена вопросам интеграции ТНМ в процесс нечеткого моделирования производительности ВПВ и обоснования технологических схем их функционирования.

В этой связи рассматриваются вопросы совершенствования методики численного моделирования условий формирования и эксплуатации ВПВ в условиях, когда месторождение ПВ рассматривается как нечетко-детерминированная система при нечетких исходных данных.

В гидрогеологической практике для решения задачи оценки эксплуатационных возможностей ВПВ применяются номограммы, предназначенные для определения дебита водозаборов в зависимости от изменений ширины, для определения дебита водозаборов в зависимости от изменений ширины, мощности, длины водоносных пластов, и КПД системы искусственного формирования (А.А. Акрамов, 1991, 1997).

Трудности с определением таких параметров водозаборов, как ширина, мощность, производительность, приводят к тому, что интерпретация этих величин как нечетких больше соответствует реальной гидрогеологической обстановке.

С другой стороны, как показывает практика, эксперты-гидрогеологи с достаточно высокой уверенностью способны охарактеризовать перспективность месторождений ПВ для определенных условий при нечеткой оценке влияющих факторов лингвистическими конструкциями типа

«Если мощность водоносного горизонта большая и коэффициент фильтрации высокий и коэффициент водоотдачи пород высокий, то производительность мпв высокая».

Для проэкспликации системы нечеткого логического вывода на базе пакета FLT предпочтение отдано нечеткой модели типа Мамдани.

Пусть $X = \{x_1, x_2\}$ и Y - входной и выходной параметры водозабора - лингвистические переменные (ЛП), определяемые так:

x_1 - «мощность пласта» с базовым терм-множеством переменных $T_1 = \{ML, NS, SR, BL, OBL\}$, определенная на универсуме метров $[0, 40]$;

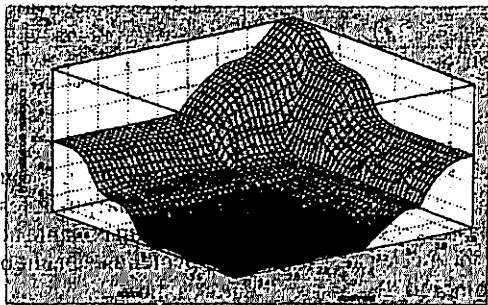
x_2 - «ширина пласта» с базовым терм-множеством переменных $T_2 = \{ML, SR, NS, BL, OBL\}$, определенная на универсуме метров $[0, 1000]$.

Y - «производительность водозабора» с базовым терм-множеством переменных $T_3 = \{ML, NS, SR, BL, OBL\}$, определенная на универсуме $m^3/сут$ $[0, 30000]$.

Составляющие выражений терм-множеств T_1, T_2 и T_3 означают:

ML - «малая», NS - «нижесреднего», SR - «средний», BL - «большой», OBL - «очень большой», NM - «немалый». Нечеткая модель перспективности ВПВ представляется в виде $Y = \tilde{f}(x_1, x_2)$ и реализуется нечеткой системой вывода типа Мамдани в среде FLT.

Результаты нечеткого моделирования в графическом виде представлены на рисунке



Поверхность fuzzy-модели производительности ВПВ в зависимости от ширины и мощности пласта при $\mu=0,175$ и КПД системы ВПВ-0,75

Сопоставление результатов нечеткого моделирования процесса выбора параметров ВПВ с результатами количественной оценки, проделанной на основе методики, предложенной в работе А.А. Акрамова (1997), показывает достаточно приемлемую степень точности. Разница результатов составляет в среднем 5,31%.

В процессе функционирования ВПВ следует оценить с точки зрения перспективности, обеспеченности запасами подземных вод и их качества.

Перечисленные состояния, представленные от низшего к высшему, являются элементами общей диагностики состояния ВПВ, подлежащих определению. В данной главе предлагаются нечетко-логические модели для диагностики состояний, алгоритм выбора альтернативных решений (предупредительного, восстановительного или локализационного характера) по ВПВ.

Кроме того, исследованы вопросы математического моделирования геофильтрационных и гидрогеохимических процессов в однослойных и двухслойных пластах при обосновании различных технологических схем ВПВ.

Для однослойных пластов приняты следующие схемы:

В паводок – искусственное восполнение запасов подземных вод при условии свободной инфильтрации.

В межень – эксплуатация водозабора, при условии отсутствия питания из поверхностных водотоков.

Для двухслойных пластов возможны следующие схемы:

Раздельная откачка соленоватых вод верхней и пресных вод нижней водоносных толщ спаренными скважинами.

Опреснение соленых вод верхней толщи путем усиления инфильтрационного потока с поверхностных источников на фоне эксплуатации пресных вод нижней водоносной толщи.

Задачи формирования и эксплуатации ВПВ решаются на основе системы дифференциальных уравнений фильтрации и солепереноса (2) - (6) с соответствующими начальными и граничными условиями, определяемыми условиями формирования эксплуатации. С применением программного комплекса FVAR проведена серия ВЭ по определению начальных и граничных условий и оцениванию степени их нечеткости, параметров среды. Для этого формируется информационно-технологическая модель ВПВ, содержащая информацию о модели ОФ и технологических схемах формирования и эксплуатации ВПВ. Далее проектируется нечеткая экспертно-информационная модель ОФ и процесса геофильтрации (солепереноса), согласно которой ка-

ждая точка сеточной области характеризуется семизначным числом целого типа $i_1i_2i_3i_4i_5i_6i_7$, разряды которого несут следующую информацию:

i_1 - номер зоны неоднородности; i_2i_3 - режим работы водозабора (эксплуатационное формирование); i_4i_5 - количество термов; i_6i_7 - номер терма.

В результате формируется нечеткая база данных для определения гидрогеологических параметров среды.

Далее на базе комплекса программ FVAR решается серия идентификационных задач с привлечением оценок экспертов о начальных распределениях уровней и минерализации ГВ, граничных условиях и параметрах процесса. Предлагаемая методика нечеткого моделирования условий формирования и эксплуатации ВПВ апробирована на следующих конкретных объектах.

Определение параметров грунтового водоносного горизонта Кибрайского водозабора. С применением нечетко-детерминированной математической модели формирования и эксплуатации ВПВ решена задача определения параметров грунтового водоносного горизонта территории водозаборных систем Кибрайского участка Чирчикского месторождения подземных вод.

Для определения параметров данной территории применялся нечетко-логический алгоритм, изложенный в главе 3. Спроектирована нечеткая информационно-логическая модель ОФ на основе нечеткой информации – мнений специалистов-гидрогеологов о характере распределения начальных условий, фильтрационных параметрах, граничных условиях и т.д. Достоверность результатов решения обратной задачи проверена решением эвристической задачи. Результаты эвристических расчетов сопоставлены с результатами полевых измерений в наблюдательных точках в 2001 г. по данным Ташкентской ГТС, что дает основание сделать вывод о высокой степени сходимости и эффективности нечетко-логического метода в процессе решения идентификационных задач геофильтрации.

Моделирование условий фильтрации и солепереноса Куванышджарминского месторождения подземных вод Южного Приаралья. По гидрогеологическим условиям территорию Куванышджарминского месторождения следует отнести к двухслойной в разрезе, состоящей из двух водоносных горизонтов, разделенных слабопроницаемым слоем.

Эти условия дают основание принять математическую модель, состоящую из одномерной в плане постановки геофильтрационной задачи, на основе гипотезы Мятлева-Гиринского и двумерных солевых задач в одномерном фильтрационном потоке для обоих водоносных горизонтов с дополнительными условиями солеобмена на границах этих горизонтов.

Такая модель взята в качестве основы технологической схемы распределения аномалий высокоминерализованных вод верхнего слоя на фоне эксплуатации вод из нижнего напорного горизонта.

Полученные результаты имеют большое значение для решения главной практической задачи – водоснабжение населения качественной водой в ре-

гионах с неблагоприятной экологической обстановкой. При этом использование нечетко-детерминированной модели значительно сокращает объем натурных исследований, что позволяет свести к минимуму дорогие и материалоёмкие опытные работы, а следовательно, снизить себестоимость подаваемой потребителю питьевой воды.

Пятая глава диссертации посвящается вопросам интеграции принципов ТНМ для решения класса задач, для которых значительная часть имеющейся информации имеет нечисловой, лингвистический характер. В связи с этим рассматриваются задачи нечеткой диагностики состояний ГГС, нечеткой оценки защищенности подземной гидросферы и нечеткой оценки состояния службы маркетинга предприятий телекоммуникаций.

Решение задачи нечеткой диагностики ГГС. Проблема обеспечения эффективного контроля и управления СС, в том числе ГГС, относящихся к категории природно-техногенных систем (И.К.Гавич, 1985), немислима без оперативной диагностики изменений состояния объекта, основанного на учете тех или иных свойств объекта которые, характеризуются гетерогенностью по своей природе, т.е. имеющих разное признаковое пространство. Сведение этих процессов в единое признаковое пространство с целью сопоставления зачастую может привести к потери смысла исследований.

Перспективным методом диагностики состояний СС, на наш взгляд, является нечетко-множественный подход, характеризуемый высоким уровнем обобщения и семантики, добавлением эвристики в процессе их идентификации. Такой подход не исключает существующие методы диагностики и контроля СС, а позволяет рационально сочетать эти методы на единой системно-методологической основе.

Под нечеткой диагностикой состояний СС понимается процесс, при котором на основании имеющихся данных наблюдений и исследований системы определяется несколько существенных, но недоступных для непосредственного измерения, показателей системы, полно характеризующих ее с позиций определенной цели и позволяющих непрерывно следить за переходом системы из начального в интересующее нас состояние (А.Е.Алтунин, М.В.Семухин, 2000, А.П.Ротштейн, 1996).

Пусть S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 – последовательные состояния орошаемых территорий:

S_0 - благополучное; S_1 - подтопление и заболачивание земель; S_2 - засоление почв и пород зоны аэрации (ЗА), S_3 - ухудшение качества ПВ; S_4 - ухудшение инженерно-геологических условий различных строительных объектов и др.

В отношении состояний следует отметить их последовательность по степени тяжести, т.е. $S_0 \Rightarrow S_1 \Rightarrow S_2 \Rightarrow S_3 \Rightarrow S_4 \Rightarrow \dots$

Многоточие означает, что дальнейшее ухудшение водных и земельных ресурсов может привести к выходу земель из севооборота, может привести к проблемам социально-экологического характера (И.К. Гавич, 1985).

В процессе диагностики состояний орошаемых территорий в качестве определяющих выбраны следующие параметры:

- x_1 - глубина залеганий ГВ; x_2 - степень минерализации ГВ;
- x_3 - дренированность территории; x_4 - соотношения уровней ГВ и НВ;
- x_5 - температура воздуха.

В качестве основы структуры нечеткой модели диагностики состояний орошаемых территорий в аридной зоне принята схема слоистого распределения изменчивости температуры, водообмена и солеобмена, основанного на вертикальной зональности подземных вод (А.С. Хасанов, Л.З. Шерфединов, 1987).

Далее решается задача определения конкретного состояния ГТО и его принадлежности к конкретной проблеме (мелиоративной, охранной, экологической).

Значения параметров $x_1 \div x_5$ определяются на основе данных режимных наблюдений, экспертных оценок, результатов численного моделирования гидрогеологических процессов.

Решение задачи диагностики состояний ГТС осуществляется в два этапа:

- путем построения системы нечетко-логических моделей связывающих ФП состояний и входных переменных с последующей настройкой параметров ФП;
- с применением пакета FLТ.

Для фазификации параметров использована единая шкала термов: М - малый; НС - ниже среднего; С - средний; ВС - выше среднего; В - высокий.

Для построения параметров ФП используем трапециевидную форму: $\tilde{p} = \langle p_{-a}, \bar{p}_0, p_{-1}, \bar{p}_1 \rangle$ с учетом настройки по уровню:

$$\tilde{p} = V_{\alpha \in [0,1]}(p_{-a}, \bar{p}_\alpha), \quad (23)$$

Построены нечетко-логические модели состояний ГТО. В частности для случая $j=3$ модель имеет вид

$$\begin{aligned} \mu^{S3}(S) = & \left[\mu^M(x_1) \wedge \mu^B(x_2) \wedge \mu^C(x_3) \wedge \mu^M(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \right] \vee \\ & \left[\mu^{MC}(x_1) \wedge \mu^B(x_2) \wedge \mu^C(x_3) \wedge \mu^M(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \right] \vee \\ & \left[\mu^C(x_1) \wedge \mu^{BC}(x_2) \wedge \mu^C(x_3) \wedge \mu^M(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \right] \vee \\ & \left[\mu^C(x_1) \wedge \mu^{BC}(x_2) \wedge \mu^B(x_3) \wedge \mu^{BC}(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \right] \vee \\ & \left[\mu^{MC}(x_1) \wedge \mu^{BC}(x_2) \wedge \mu^B(x_3) \wedge \mu^{MC}(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \right] \vee \\ & \left[\mu^B(x_1) \wedge \mu^B(x_2) \wedge \mu^B(x_3) \wedge \mu^B(x_4) \wedge \mu^B(x_5) \right] \end{aligned} \quad (24)$$

Предлагаются вычислительный алгоритм и программный комплекс для определения состояний ГТО на базе нечетких моделей типа (24) для конкретной точки $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*, x_5^*)$, опирающиеся на последовательное вычисление значений $\mu^j(x^*)$, $\mu^S(x^*)$, при этом $\mu^S(x^*) = \max[\mu^j(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)]$.

С применением пакета FLТ среды Matlab.6.5 построена нечеткая модель изменений состояний ГГО, определяющая в зависимости от соотношений параметров x_1, x_2, x_3, x_4 состояние ГГО: $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$, где y_1, y_2, y_3 - выходные параметры состояния ГГО («мелиоративная проблема», «охранная проблема», «экологическая проблема»), в следующем виде: $Y = f(X)$, здесь $Y = \{y_1, y_2, y_3\}$, $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4\}$.

Спроектированы базы знаний и правил, на базе которых построена нечеткая модель типа Мамдани, проведена серия ВЭ в интерактивном режиме на основе построенной модели, результаты которых представлены в виде поверхности конкретной зависимости Y от входных параметров.

Решение задачи нечеткой оценки защищенности подземной гидросферы.

Проведение качественной оценки защищенности подземной гидросферы сопряжено со значительными сложностями, связанными с возможностью получения достоверных данных для применения классических (детерминированных и стохастических) методов математического моделирования исследуемого процесса. С другой стороны, организация научно-исследовательских мероприятий в целях обеспечения таких данных требует серьезных материальных вложений и значительных ресурсов времени. В этой связи исследованы возможности применения ТНМ и нечеткой логики для оценки защищенности подземной гидросферы.

Существующая методика оценки защищенности основана на определении степени удовлетворения указанным выше влияющим факторам на ранговой шкале баллов (для каждого фактора определена своя шкала). Далее определяется сумма баллов, которая и характеризует уровень защищенности:

Как показывает практика, эксперты с достаточно высокой уверенностью способны охарактеризовать уровень защищенности ГВ при нечеткой оценке влияющих факторов лингвистическими конструкциями типа «Если МОЩНОСТЬ СО и ГЛУБИНА ЗАЛЕГАНИЯ ГВ *малые*, то при *высокой* ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ пород ЗАЩИЩЕННОСТЬ будет *слабая*». В данной конструкции СО означает слабопроницаемые отложения.

Определены основные структурные элементы нечеткой модели защищенности ГВ. Пусть $X = \{x_1, x_2, x_3\}$ - входной вектор, Y - выходной вектор, где x_1, x_2, x_3 и Y - параметры защищенности ГВ, суть ЛП:

x_1 = «мощность СО», x_2 = «глубина УГВ», x_3 = «пропускная способность», y = «защищенность ГВ» с соответствующими терм-множествами.

Проектирование системы нечеткой оценки защищенности ГВ осуществляется на основе FLТ, при этом определяются соответствующие веса взаимосвязи между ЛП x_1, x_2, x_3 и y , с учетом которых строится нечеткая логическая модель типа Мамдани.

Возможность получения числовых значений уровня защищенности ГВ позволяет интегрировать полученные результаты в существующие математической модели и генерировать управляющие сигналы в контур автоматизи-

рованного управления с использованием современных информационных технологий.

На базе нечеткой интерактивной модели защищенности грунтового водоносного горизонта проведена серия ВЭ с целью проверки адекватности результатов моделирования.

Сопоставление результатов нечеткого моделирования условий защищенности ГВ с результатами количественной оценки, полученными на основе методики В.М.Гольдберга (1980), показывает наличие достаточно приемлемой точности (таблица).

Предложенная методика нечеткого моделирования СС инвариантна по смыслу и содержанию и поэтому применима для комплексного решения задач поддержки принятия решений для других объектов народного хозяйства, характеризующихся доминированием информации качественного характера. В этой связи предлагается система нечетко-логических моделей для оценки состояния службы маркетинга предприятий телекоммуникации, для чего использованы материалы, приведенные в работе А.Н.Арипова и Т.К.Иминова (2005).

Сопоставление результатов нечеткого моделирования защищенности ГВ:

№	Мощность	Глубина	Пр.спос.	Сумма баллов по В.М.Гольдбергу(1980)	Баллы по нечеткой модели
1	10	15	0,01	14	15,2
2	10	15	0,00095	17	20,2
3	15	15	0,00095	35	32,2
4	25	15	0,00015	38	33,3
5	18	20	0,08	36	32,4
6	8	20	0,08	10	8,41
7	8	10	0,08	9	8,41
8	18	35	0,25	38	33,3
9	20	25	0,015	38	33,5
10	20	12	0,015	37	32,9

Шестая глава диссертации посвящена вопросам применения разработанных нечетких и нечетко-детерминированных моделей для организации системы мониторинга СС в условиях нечеткой исходной информации.

Вопросам поддержки принятия решений для сложных объектов в условиях неопределенности посвящены работы Д.А.Поспелова, А.Н.Мелихова, Л.С.Бернштейна, А.Н.Борисова, С.А.Орловского, Т.Ф.Бекмуратова, Р.А.Алиева, А.Е.Алтунина, М.Сугэно, Е.Мамдани, А.П.Ротштейна, С.Д.Штотбы и др. В работах А.Н.Мелихова, Л.С.Бернштейна, С.Я.Коровина (1990) предлагается нечеткая модель – ситуационно-советующая система с нечеткой логикой (ССНЛ), основными элементами которой являются блоки

принятия решений (ПР) и оценки состояний (БОС), в результате функционирования которых на выход выдаются управляющие решения.

В работах Т.Ф.Бекмуратова (2005, 2006) решение задач поддержки принятия решений СС в условиях неопределенности включает в себя взаимосвязанные этапы, связанные с контролем ситуаций, определением типа ситуаций и прогнозированием динамики развития ситуаций. По-видимому, такой подход обеспечивает системную взаимосвязанность составляющих объекта исследования и является основой принятия рациональных решений в зависимости от конкретной ситуации. С учетом на этих принципов в диссертации предлагается система организации мониторинга водозаборов подземных вод (СМ ВПВ) с последующей интеграцией блока нечеткой диагностики состояний в процесс ПР.

Это даёт основание принять структуру СМ ВПВ, состоящую из трех взаимосвязанных функциональных блоков – БЛОК ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ, НЕЧЕТКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЙ ВПВ, БЛОК ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.

Назначение этих блоков определяется их ориентацией на решение конкретных задач. Коротко приводим основные функции этих блоков:

БЛОК ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ (БОС) - подсистема сбора, обработки информации о ВПВ, проектирование информационно-технологических моделей (ИТМ) в зависимости от условий формирования и эксплуатации ВПВ, нечетко-информационной модели (НИМ) процесса идентификации параметров среды, определение текущих состояний объекта исследований в условиях неопределенности (полная определенность, неполная определенность, полная неопределенность). Основная задача данного блока – контроль динамики технологического процесса с последующим обеспечением его стабильности. Связь с ВПВ осуществляется управляющей программой СМ МПВ и служит для подключения дополнительной информации.

Подсистема **ИНТЕРФЕЙС ЛПР** предназначена для организации ВЭ в интерактивном режиме. При этом предусматриваются смена режимов формирования и эксплуатации ВПВ, выбор способов представления результатов ВЭ (таблицы, графики и др.).

Подсистема **БЛОК НЕЧЕТКОЙ ДИАГНОСТИКИ (БНД)** получает фазифицированную информацию об изменениях режима уровня и степени минерализации ПВ от БОС, проверяет систему ВПВ на наличие нарушений норм технологического процесса и дает прогноз состояния ВПВ.

Работа СМ ВПВ начинается с определения коэффициентов $\alpha'_j, \beta'_j, \gamma'_j, l, j = \overline{1,3}$. Вычисляются коэффициенты:

$$\mu'_{(i)} = \begin{cases} \frac{a^{(k)} - a'_{(i)}}{\hat{a}'_{(i)} - a'_{(i)}}, & \text{если } a'_{(i)} < a^{(k)} < \bar{a}'_{(i)}, \\ \frac{\bar{a}'_{(i)} - a^{(k)}}{\bar{a}'_{(i)} - \hat{a}'_{(i)}}, & \text{если } \hat{a}'_{(i)} < a^{(k)} < \bar{a}'_{(i)} \end{cases} \quad (26)$$

где

$$\begin{aligned}
 \alpha'_i &= \mu_{(1)}^i, \beta'_i = \mu_{(2)}^i, \gamma'_i = \mu_{(3)}^i; \\
 \underline{a}_{(1)} &= \underline{\Delta\tilde{H}}, \hat{a}_{(1)} = \Delta\tilde{H}, \bar{a}_{(1)} = \Delta\bar{H}; \\
 \underline{a}_{(2)} &= \underline{\Delta\tilde{C}}, \hat{a}_{(2)} = \Delta\tilde{C}, \bar{a}_{(2)} = \Delta\bar{C}; \\
 \underline{a}_{(3)} &= \underline{\Delta\tilde{Q}}, \hat{a}_{(3)} = \Delta\tilde{Q}, \bar{a}_{(3)} = \Delta\bar{Q}
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

$\underline{a}_{(i)}, \bar{a}_{(i)}$ - нижнее и верхнее значения нечеткого числа $\tilde{a}(\Delta\tilde{H}, \Delta\tilde{C}, \tilde{Q})$ на нулевом α -уровне; $\hat{a}_{(i)}$ - значения нечеткого числа $\tilde{a}(\Delta\tilde{H}, \Delta\tilde{C}, \tilde{Q})$ на единичном α -уровне; $a^{(k)} = \begin{pmatrix} \Delta\tilde{H}^{(k)} \\ \Delta\tilde{C}^{(k)} \\ \tilde{Q}^{(k)} \end{pmatrix}$; Здесь $k=1,2,3$; k -цикл мониторинга ВПВ.

Выбор рациональной альтернативы осуществляется БЛОКОМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ (БПР) на основе нечеткой диагностики состояний ВПВ с использованием при этом значений признаков (нечетких параметров) ВПВ: $\Delta\tilde{H}_{ij}, \Delta\tilde{C}_y, \Delta\tilde{Z}_y, \tilde{Q}, \tilde{f}$, представляемых конструкциями типа $\langle \Delta\tilde{H}, X, \tilde{C}_{(l)} \rangle$, $\langle \Delta\tau, Y, \tilde{C}_{(2)} \rangle$, $\langle \tilde{Q}, Z, \tilde{C}_{(3)} \rangle$, $\langle \tilde{f}, P, \tilde{C}_{(4)} \rangle$, где $\tilde{C}_{(l)}$ - ФП признаков ВПВ, $l=1,4$;

X, Y, Z, P - области значений $\Delta\tilde{H}$, $\Delta\tilde{C}$, \tilde{Q} , \tilde{f} ; $\tilde{C}_{(l)} = \{ \alpha_1^{(l)} / T_1^{(l)}, \beta_2^{(l)} / T_2^{(l)}, \gamma_3^{(l)} / T_3^{(l)} \}$, $T = \{ T_1^{(l)}, T_2^{(l)}, T_3^{(l)} \}$, $T_1^{(l)}$ - малое, $T_2^{(l)}$ - среднее, $T_3^{(l)}$ - большое. На основе определения изменений уровней и степени минерализации подземных вод формируются множества текущих, типовых и эталонных ситуаций ВПВ. При этом используются конструкции вида $\langle \Delta\tilde{H}, X, \tilde{C}_{(1)} \rangle$, $\langle \Delta\tilde{C}, Y, \tilde{C}_{(2)} \rangle$, $\langle \Delta\tilde{Q}, Z, \tilde{C}_{(3)} \rangle$, где

$$\left. \begin{aligned}
 \tilde{C}_{(1)} &= \{ \langle \alpha_1 / T_1^1 \rangle, \langle \beta_1 / T_1^2 \rangle, \langle \gamma_1 / T_1^3 \rangle / \Delta\tilde{H} \} \\
 \tilde{C}_{(2)} &= \{ \langle \alpha_2 / T_1^2 \rangle, \langle \beta_2 / T_2^2 \rangle, \langle \gamma_2 / T_3^2 \rangle / \Delta\tilde{C} \} \\
 \tilde{C}_{(3)} &= \{ \langle \alpha_3 / T_1^3 \rangle, \langle \beta_3 / T_2^3 \rangle, \langle \gamma_3 / T_3^3 \rangle / \Delta\tilde{Q} \}
 \end{aligned} \right\}, \tag{28}$$

T_1^1, T_1^2, T_1^3 - <<малое>>, T_2^1, T_2^2, T_2^3 - <<среднее>>, T_3^1, T_3^2, T_3^3 - <<большое>>.

Основываясь на результатах ситуационного анализа множеств текущих, типовых ситуаций и нечеткой диагностики состояний ВПВ, осуществляется выбор рациональной альтернативы из множества возможных на основе алгоритма принятия решений, основанного на методе деноминируемых альтернатив (Орловский С.А., 1981). При этом процесс агрегирования осуществляется на основе нечеткой информации, представленной в виде матриц предпочтений, сформулированных ЛПР и характеризующих нечеткие отношения между признаками (уменьшение и истощение запасов ПВ, ухудшение качества ПВ) и альтернативами (профилактические, локализационные, предупредительные, восстановительные) в системе ВПВ.

Вместе с тем для улучшения плохо определенных ситуаций проектируется система нечеткого логического вывода типа Мамдани: $B' = A' \circ \bigcap_{i=1}^n R_i$, где

A' - вход, B' - выход, $R = A \Rightarrow B$. Вид принимаемого решения представляется в виде конструкций типа $\langle I_j, T_j^i, X \rangle$, $\langle D_j, T_j^i, X \rangle$, $\langle Z_j, T_j^i, X \rangle$, где I_j, D_j, Z_j - ЛП "увеличить", "уменьшить", "не изменять" (А.Н.Мелихов, Л.С.Бернштейн, С.Я.Коровин, 1990).

При этом каждому терму T^j ЛП I_j, D_j, Z_j проектируется свое композиционное правило. Характерными для решения задачи мониторинга ВПВ являются нечеткие операторы: $R(T_1^1, T_2^3)$, $R(T_2^1, T_2^2)$, $R(T_3^1, T_1^2)$, $R(T_1^1, T_2^4)$, $R(T_3^1, T_1^4)$, $R(T_2^3, T_3^4)$, представленные в виде матриц, характеризующих силу воздействия значений нечеткого решения в терминах значений признаков $(\Delta \bar{H}, \Delta \bar{C}, \bar{Q}, \bar{f})$. ЛП I_j, D_j, Z_j имеют терм-множества {немного, сильно}, {не изменять, прекратить}.

Поэтому в зависимости от ситуации можно модифицировать ПР, т.е. задавать команды "немного увеличить", "сильно уменьшить", "прекратить" и т.д.

Результат действия ПР определяется на основе композиционного правила Мамдани: $\mu_D = \min\{\mu_G(x), \mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), \dots, \mu_{C_n}(x)\}$

Проведена серия ВЭ по реализации предлагаемой СМ ВПВ. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности внедрения принципов ТНМ в процессы мониторинга и принятия решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты исследований, связанные с разработкой теоретических и методологических основ математического моделирования сложных процессов в условиях нечеткой исходной информации, которые получены на основе применения современных информационных технологий и принципов теории нечетких множеств, сводятся к следующим выводам:

1. Проведенный анализ современного состояния проблемы математического моделирования СС показал, что в настоящее время еще не сложилась единая научно обоснованная методология математического моделирования сложных процессов в условиях нечеткой исходной информации. Причиной этому являются усиление влияния техногенных факторов на объекты народного хозяйства, отсутствие методологии непосредственного использования всей доступной информации, включая нечеткую информацию в применяемых методах моделирования и ограниченность возможностей традиционных методов моделирования в таких условиях.

2. Предлагается концепция нечеткого моделирования ГТС, позволяющая в совокупности с существующими методами моделирования адекватно формализовать исследуемые процессы, улучшить эффективность принимаемых решений за счет непосредственного использования нечеткой информации, а

также ход действий гидрогеолога в процессе принятия решений. Исследованы вопросы системного представления гидрогеологических объектов и их связей, систематизированы понятия гидродинамической и гидрохимической составляющих структуры ГГС и принципы их формализации в условиях нечеткой исходной информации.

3. Предлагается научно обоснованная методология интеграции принципов ТНМ для решения класса задач, допускающих формализацию в виде дифференциальных уравнений в частных производных или их систем в условиях нечеткой исходной информации. Основа предлагаемой методологии - принцип непосредственного включения в детерминированные модели неопределенных факторов (параметров среды, нечетко заданных начальных и граничных условий).

4. Исходя из сущности решения мелиоративно-гидрохимических задач для условий аридной зоны, предлагаются единая нечетко-детерминированная математическая модель взаимосвязи гидродинамических и гидрогеохимических режимов гидрогеологических объектов, комплекс вычислительных алгоритмов на основе конечно-разностных схем и программ для ее реализации в различных условиях формирования, транзита и разгрузки потоков подземных вод.

5. Разработан комплекс алгоритмов и программ для решения задач параметрической идентификации геофильтрации в условиях нечеткой исходной информации. Качество решения обратной задачи проверяется с применением критерия основанного на минимальной среднеквадратической погрешности между фактическими и модельными уровнями ПВ и критерия достоверности определения параметров по данным гидрогеологических изысканий с учетом принятого диапазона изменения.

6. Разработаны алгоритмы и программы формирования нечетких информационных моделей для одно- и двухслойных водоносных горизонтов. Предлагаются алгоритмы и программы проектирования нечеткой экспертно-информационной модели ВГВ, являющейся нечеткой базой знаний в процессе определения параметров среды и технологических схем ВГВ.

7. Решены задачи нечеткого определения параметров грунтового водоносного горизонта Кибрайского водозабора. Построена математическая модель восстановления качества и запасов подземных вод Куванышджарминского месторождения подземных вод Южного Приаралья в условиях двухслойного строения водоносного горизонта. Полученные результаты важны для решения главной практической задачи — водоснабжение населения качественной водой в регионах с неблагоприятной экологической обстановкой. При этом применение нечетко-детерминированной модели значительно сокращает объем дорогостоящих натуральных исследований.

8. Предложена нечетко-логическая методология решения класса задач, характеризующихся доминированием информации нечеткого качественного характера. С применением пакета FLT решены задачи проектирования нечетко —

логической модели для диагностики состояний ГТС, нечеткой оценки защищенности подземной гидросферы и нечеткой диагностики состояния службы маркетинга предприятий телекоммуникационной отрасли. Результаты проведенных ВЭ дают основание утверждать о приемлемой степени точности и эффективности нечетко-множественного подхода для решения подобного класса задач. Возможность получения числовых значений нечетких параметров исследуемых процессов позволяет интегрировать полученные численные результаты в существующие математические модели поддержки принятия решений и использовать их при решении задач комплексного характера.

9. На основе разработанных алгоритмов и программ предлагается трехуровневая модель поддержки – принятия решений, предназначенная для совместного решения задач контроля нечетких ситуаций, определения типа ситуации и выбора рациональной альтернативы из множества возможных на примере ВПВ в условиях нечеткой исходной информации.

10. Применение принципов ТНМ в процессах геофильтрационной, геомиграционной схематизации области фильтрации, решение задач параметрической идентификации, а также принятия решений позволяют значительно упростить процедуру обработки информации и сократить трудовые и временные расходы на 20-25% от общих затрат. При этом предлагаемая методика обоснования внутренних и внешних граничных условий, основанная на ситуационном анализе и прогнозировании их воздействий на водоносный пласт в режиме реального времени позволяет значительно сократить расходы на строительство эксплуатационных скважин и инфильтрационных каналов и обеспечить прирост запасов подземных вод в паводковый период на 1,5-2 раза.

11. Использование метода нечеткого моделирования позволяет минимизировать количество наблюдательных скважин и систематизировать данные о водоносной толще, а также оперативно определить основные затраты и методы проведения дальнейших детальных поисков с предварительной разведкой на перспективных участках МПВ. Не менее важной является обработка экспериментальных данных на основе принципов ТНМ, что позволит извлечь новые сведения и знания об исследуемом процессе.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Статьи, опубликованные в научных журналах

1. Усманов Р.Н., Хабибуллаев И.Х. Исследование гидрохимического режима орошаемых массивов с применением численных методов и ЭВМ // Разведка и охрана недр. – Москва, 1985. – №1. – С.54-56.

2. Усманов Р.Н. Математическое моделирование взаимосвязи гидрогеохимических режимов грунтового и напорного водоносных горизонтов // Узб. журн. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2000. – №6. – С. 40-44.

3. Усманов Р.Н., Нейматов А., Жуманов Ж. К вопросу разработки информационной модели гидрохимических процессов // Узб. журн. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2001. - №3. - С. 72 – 78.

4. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н. Опыт численного моделирования гидрохимических процессов на примере Куванышджарминского месторождения подземных вод Южного Приаралья // Доклады АН РУз. – Ташкент, 2001. - №3. - С. 23 – 26.

5. Усманов Р.Н. Нечетко-множественный подход при определении фильтрационных параметров задач геофильтрации // Узб. журн. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2006. - №1. - С. 33 – 38.

6. Усманов Р.Н. К вопросу численного моделирования процессов формирования и эксплуатации водозаборов подземных вод в условиях нечеткой информации // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2006. - №2. - С. 3-6.

7. Усманов Р.Н. К вопросу интеграции нечетко-множественного подхода в процесс диагностики состояний сложных систем // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2006. - № 3. - С. 71-77.

8. Radjabov B.Sh., Usmanov R.N., Mamajanov R.J. Algorithm presentation of optimal priorities requests granting law with in determines relations. Proceeding TEIS. Actual problems of telecom. Tashkent – Antwérpen.-1999.- Part 2.- P. 106-107.

9. Усманов Р.Н. О моделировании изменений гидрогеохимического состояния гидрогеологических объектов на базе нечетко-множественного подхода // Узб. журн. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2005. - № 6. - С. 67-72.

10. Умаров У.У., Джуманов Ж.Х., Хабибуллаев И.Х., Грачева И.Н., Усманов Р.Н. Перспективы развития методологии моделирования гидрогеологических систем на базе современных информационных технологий // Геология и минеральные ресурсы. – Ташкент, 2006. - №2. - С. 52-55.

11. Усманов Р.Н. К вопросу нечеткого представления параметров исследуемой среды в процессе решения идентификационных задач // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2006. - №3. - С. 7-9.

12. Усманов Р.Н. Интеллектуализация процесса принятия решений в условиях нечеткой исходной информации // Aloqa Dunyosi. – Ташкент, 2007. - №1. - С. 52-56.

13. Усманов Р.Н. Нечеткое моделирование технологических процессов водозабора в схемах искусственного восполнения подземных вод // Химическая технология. Контроль и управление. – Ташкент, 2007. - № 1. - С. 63-69.

14. Абуталиев Ф.Б., Мухатдинов М.Я., Усманов Р.Н. Интеграция нечетко-множественного подхода к оценке защищенности подземной гидросферы (на примере грунтового водоносного горизонта) // Узб. журн. «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2004. - №4. - С. 75-81.

15. Усманов Р.Н. К вопросу интеллектуализации нечеткого управления сложных процессов (на примере водозаборов подземных вод) // Вестник ТУИТ. – Ташкент, 2007. - №1. - С. 46-49.

16. Усманов Р.Н., Джуманов Д., Расулов Б. К вопросу интеграции нечетко-множественного подхода в процесс численного моделирования гидрогеологических условий Кибрайского водозабора // Экологический вестник Узбекистана.- Ташкент, 2007, № 8.-с.37-39.

2. Патенты на изобретения и авторские свидетельства

17. Усманов Р.Н. Программа моделирования условий формирования и эксплуатации водозаборов подземных вод с применением нечетко-логических методов // Государственное патентное ведомство Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ. № DGU 01237, 20.02.2007.

18. Усманов Р.Н. Программа генерирования управляющих решений на основе нечеткой диагностики состояний гидрогеологических систем // Государственное патентное ведомство Республики Узбекистан. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ. № DGU 01238, 20.02.2007.

3. Статьи, опубликованные в сборниках научных трудов, материалы и тезисы докладов конференций

19. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н., Каримов Р.К. Метод численного моделирования процессов переноса солей в многослойных пластах // Математические методы и АС в геологии. Экспресс – информация ВИЭМС.– Москва, 1988.- Вып.4.-С.3-5.

20. Абуталиев Ф.Б., Тахиров Н.Т., Усманов Р.Н. К вопросу комплексного исследования задач геохимической гидродинамики // Научно-технический семинар «Математическое моделирование гидрогеологических процессов»: Тез. докл.. – М., 1989.—С.61-62.

21. Radjabov B.Sh., Usmanov R.N., Mamajanov R.J. Vikhandu algorithm modification applied to the adaptive identification and control problems. World Conference on Intelligent Systems for Industrial. Automation, Tashkent, Uzbekistan, September 14-16, 2000. - P. 199-204.

22. Abutaliev F.B., Usmanov R.N. Integration of fuzzy set approach in process of hydro-geological systems modeling. World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation. Tashkent, November 21-22, 2006.- P.53-55.

23. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н. Исследование динамики ионного обмена в многокомпонентных растворах // Материалы 1–Всесоюзной гидрогеологической конференции. - М., 1982.- С.140-143.

24. Абуталиев Ф.Б., Тахиров Н.Т., Усманов Р.Н. Особенности автоматизации задач геохимической гидродинамики с применением численных методов и ЭВМ // Сб. науч. тр. Современные методы исследований и обработки данных в гидрогеологии. – Ташкент, САИГИМС, 1981.- Вып.7. - С.3-11.

25. Усманов Р.Н. Проблемы численного моделирования задач геохимической гидродинамики в районах орошения и дренажа // Сб. науч. тр. Современные методы исследований и обработки данных в гидрогеологии. – Ташкент, САИГИМС, 1981.- Вып.7. - С.18-27.

26. Усманов Р.Н., Исанов А.Г. К методике комплексной схематизации условий формирования гидрохимического режима грунтовых вод// Сб. науч. тр. Современные методы исследований и обработки данных в гидрогеологии. – Ташкент, САИГИМС, 1982.- Вып.8. - С.58-61.

27. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н. К методу комплексного решения задачи прогнозирования гидродинамического и гидрохимического режима грунтовых вод // Известия АН УзССР. Серия техн. наук. - Ташкент, 1981 -22 с.-Деп. в ВИНТИ, №1418 .

28. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н., Муминов Ш.Р. Разработка комплекса математических моделей и программ для автоматизации исследования гидрогеохимического режима грунтовых вод // Известия АН УзССР, серия техн. наук. - Ташкент, 1983. - 23 с.--Деп. в ВИНТИ, №218-83.

29. Усманов Р.Н. К обоснованию прогностических моделей гидрогеохимических процессов на орошаемых территориях // Методика инженерных изысканий для мелиоративного строительства в аридной зоне: Тезисы докл. Всес. совещ. - Душанбе, 1983. –С.154.

30. Абуталиев Ф.Б., Хабибуллаев И.Х., Бахрамов А.Б., Усманов Р.Н. Опыт применения математического моделирования и ЭВМ для исследования гидрогеолого-мелиоративных условий орошаемых территорий // Методика инженерных изысканий для мелиоративного строительства в аридной зоне: Тезисы докл. Всес. совещ. - Душанбе, 1983. -С.84-85.

31. Абуталиев Ф.Б., Умаров У.У., Усманов Р.Н. и др. Численное моделирование водно-солевого режима орошаемых массивов и ее автоматизация // Сб. 27 – международный геологический конгресс. – М., Т-7. - 1984. -С.338.

32. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н., Исанов А.Г. Региональный прогноз изменений уровня и минерализация грунтовых вод Южного Приаралья // 1 – региональная конференция по миграции солей на территории Средней Азии:Тез. док. - Ташкент, 1988. –С.71-72.

33. Усманов Р.Н. К вопросу численного моделирования процессов ионного обмена при прогнозировании изменений химического состава грунтовых вод // Применение математического моделирования для решения гидрогеологических задач: Сб. научных трудов ТашГУ - Ташкент, 1987. –С.46-50.

34. Раджабов Б.Ш., Усманов Р.Н. Об одном подходе адаптивного управления качеством подземных вод в зоне Южного Приаралья // Современные проблемы алгоритмизации: Сб. научн. тр. - Ташкент, 1991. – С.182.

35. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н. К вопросу повышения точности прогнозов гидрохимического состояния гидрогеологических объектов // Суюкликлар куп фазали аралашмалар ва туташ мухитларда тулкинларни таркалиши-

ни долзарб муаммолари: Республика илмий-амалий анжумани.– Тошкент, 1999. - 180-182 б.

36. Абдуазизов А.А., Усманов Р.Н. К вопросу разработки концептуальной модели автоматизации численного моделирования гидрогеохимических процессов // Радиотехнические системы и устройства. Сб. науч. тр. ТЭИС. – Ташкент, 1999.- С. 115-117.

37. Абуталиев Ф.Б., Раджабов Б.Ш., Усманов Р.Н., Мухатдинов М.Я. К вопросу адаптивного управления процессом искусственного восполнения запасов подземных вод // Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании: Материалы Межд. научная конференции. - Ташкент, 2004.- С.10.

38. Усманов Р.Н. К вопросу обоснования проектов подземных водозаборов с искусственным восполнением запасов методом математического моделирования // Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании: Материалы Международной конференции - Ташкент, 2004.- С. 268-271.

39. Усманов Р.Н. Применение теории нечетких множеств в процессе моделирования условий защищенности грунтовых вод // Загрязнение пресных вод аридной зоны, оценка и уменьшение: Материалы Международного симпозиума - Ташкент, 2004.-С. 142 – 143.

40. Баклушин М.Б., Усманов Р.Н., Джуманов Ж. Особенности математического моделирования процессов расселения почво-грунтов с учетом гетерогенности порового пространства // Загрязнение пресных вод аридной зоны, оценка и уменьшение: Материалы Международного симпозиума .- Ташкент, 2004.-С. 139 – 140.

41. Абуталиев Ф.Б., Усманов Р.Н. Предпосылки нечеткого моделирования гидрогеологических процессов // Фан ва таълимда ахборот – коммуникация технологиялари: Республика илмий-амалий конференцияси. Т.1. - Тошкент, 2006.- 4-26 б.

42. Усманов Р.Н. К вопросу построения интерактивной модели процесса выбора параметров водозаборов в условиях нечеткой исходной информации // Современные проблемы математического моделирования: Материалы Республиканской научной конференции Т.2.- Нукус, 2005.- С: 22-28.

43. Усманов Р.Н. К вопросу реализации технологических схем искусственного восполнения подземных вод на основе математических моделей геофильтрации и массопереноса // Инфокоммуникационные и вычислительные технологии в науке, технике и образовании: Материалы Международной конференции - Ташкент, 2004.- С. 268-271.

Техника фанлари доктори илмий даражасига талабгор Усманов Ришат Ниязбековичнинг 05.13.18 - «Математик моделлаштиришнинг назарий асослари» ихтисослиги бўйича «Мураккаб жараёнларни катъиймас маълумотлар шароитида моделлаштириш ва бошқариш (гидрогеологик тизимлар мисолида)» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч сўзлар: замонавий ахборот технологиялари, катъиймас тўпламлар, катъиймас – детерминистик моделлар, қарорлар қабул қилиш жараёнини интеллектуаллаштириш, тегишлилик функциялари, гидрогеологик тизим, чекли-айирмали схема, идентификация, ер ости сувларини олиш, мураккаб тизимларнинг катъиймас диагностикаси.

Тадқиқот объеклари: мураккаб тизимлар, моделлаштириш усуллари, гидрогеологик объектлар ва уларнинг гидрогеологик ҳамда математик моделлари, ер ости сув олиш иншоотлари.

Ишнинг мақсади: катъиймас ахборотлар шароитида мураккаб жараёнларни математик моделлаштириш усуллари ривожлантириш ва яратиш, мураккаб тизимларнинг турли шароитларда ўзгаришларини тахминлаш, диагностика қилиш ва бошқаришни амалга ошириш учун катъиймас, катъиймас–детерминистик моделларини ва ишлатиш алгоритмлари ва программаларини яратиш.

Тадқиқот усули: тизимли таҳлил, чекли айирмалар усули, ҳисоблаш экспериментлари, ўрганилаётган соҳанинг информацион моделларини лойиҳалаш усуллари.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: мураккаб тизимларни катъиймас моделлаштириш концепцияси яратилган, гидрогеологик объектлар гидрогеохимик ҳолатлари ўзгаришларининг катъиймас – детерминистик модели ва бу моделнинг турли шароитларда қўлланилиши учун алгоритм ва программалар яратилган, тесқари геофилтрация масалаларини катъиймас маълумотлар шароитида ечиш алгоритми, гидрогеологик объектларнинг диагностикаси ва ҳимояланганлиги даражасининг катъиймас – мантикий моделлари, ер ости сув олиш иншоотлари мисолида мураккаб жараёнларнинг мониторинги ва катъиймас диагностикаси ва бошқарувини ташкил қилишнинг уч босқичли тизими ишлаб чиқилган.

Амалий аҳамияти: етарлича ўрганилмаган ва маълумотлар етишмаслиги билан характерланувчи объектларни ўрганишда етарлича аниқликда катъий бўлмаган ечимлар олишга имкон яратиш.

Тадқиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги : ишда олинган натижалардан Қибрай ва Куванишжарма ер ости сув конлари гидрогеологик шароитларини моделлаштиришда фойдаланилди ва САНИИРИ илмий ишлаб чиқариш бирлашмаси объектларида қўлланилмоқда. Диссертация натижаларининг тадбиқи натижасида 3 млн.390 минг сўм иқтисодий самара олинди.

Қўлланиш соҳаси: катъиймас маълумотлар шароитида мониторинг хизматини ташкил қилиш ва қарорлар қабул қилиш тизимлари, гидрогеология ва ирригация-мелиорация объектлари.

РЕЗЮМЕ

диссертации Усманова Ришата Ниязбековича «Моделирование и управление сложных процессов в условиях нечеткой исходной информации (на примере гидрогеологических систем)» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.18 - «Теоретические основы математического моделирования»

Ключевые слова: современные информационные технологии, нечеткие множества, нечетко-детерминированные модели, интеллектуализация процесса принятия решений, функции принадлежности, гидрогеологическая система, разностные схемы, идентификация, водозаборы подземных вод, нечеткая диагностика сложных систем, мониторинг.

Объекты исследования: сложные системы, методы моделирования, гидрогеологические объекты и их гидрогеологические и математические модели, водозаборы подземных вод.

Цель работы заключается в разработке и развитии научных основ математического моделирования сложных процессов в условиях нечеткой исходной информации, а также в проектировании нечетких, нечетко-детерминированных моделей и комплекса программ для их реализации в процессе решения задач, связанных с прогнозированием изменений, диагностикой состояний и регулированием сложных систем в различных условиях функционирования.

Методы исследования: системный анализ, разностные схемы, вычислительный эксперимент, методы проектирования информационных моделей предметной области.

Полученные результаты и их новизна: разработаны концепция нечеткого моделирования сложных систем; единая нечетко-детерминированная математическая модель формирования гидрогеохимического состояния гидрогеологических объектов и комплекс алгоритмов и программ для ее реализации в конкретных условиях; нечетко-логическая методика решения обратных задач геофильтрации; система нечетко-логических моделей диагностики состояний и оценки защищенности гидрогеологических объектов; трехступенчатая модель совместного решения задач мониторинга, нечеткой диагностики и управления сложными системами на примере водозаборов подземных вод.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в получении нечетких решений с приемлемой точностью для объектов, характеризующихся низкой информативностью и недостаточной изученностью в зависимости от конкретной ситуации.

Степень внедрения и экономическая эффективность. Полученные в работе результаты внедрены при моделировании гидрогеологических условий Кибрайского и Куанышджарминского месторождений подземных вод, приняты к внедрению на объектах НПО САНИИРИ. Экономический эффект от реализации результатов диссертации составляет 3 миллиона 350 тысяч сум.

Область применения: системы мониторинга и принятия решений в условиях нечеткой исходной информации, гидрогеологические и ирригационно-мелиоративные объекты.

RESUME

Thesis of the Usmanov Rishat Nijazbecovitch on the scientific degree competition of sciences in 05.13.18 speciality «Theoretical base of mathematic modeling» subject: "Difficult processes modeling and management in condition of fuzzy raw data (on hydro geological systems example)"

Key words: modern information technologies, fuzzy sets, illegible determined models, problem-solving process intellectualization, membership functions, hydro geological system, groundwater intake, and difficult systems fuzzy diagnostics.

Subjects of the inquiry: complex objects, modeling methods, hydro geological objects and there hydro geological and mathematical modeling, groundwater intake.

Aim of the inquiry : scientific base development and evolution for mathematic modeling of difficult processes in condition of fuzzy raw data, and fuzzy and fuzzy-determined models designing and program complex developing for their realization in process of problem solving associated with changes forecasting, states diagnostics and difficult systems controlling in different functioning conditions.

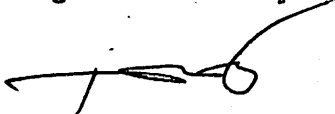
Method of inquiry: system analysis, difference schemes, computing experiment, methods of object domain information models designing.

The results achieved and their novelty: the followings have been developed: difficult systems fuzzy modeling concept; single fuzzy-determined mathematical intercommunication model Resume of hydro geochemical subsurface of hydro geological objects and program and algorithms complex for its realization in specific conditions; fuzzy-logic method for inverse geofiltring problem solving; state and hydrogeology objects protection ability rate diagnostics fuzzy-logic models system; three-stage joint problems solving monitoring, fuzzy diagnostics and difficult systems management model structure, algorithms and programs complex, on groundwater intake example.

Practical value of dissertation results consists of obtaining fuzzy solution for objects with low self-descriptiveness and insufficient analysis, which allow analysis of different decision alternates subject to specific situation in interactive mode.

Degree of embed and economical effectivity. The obtained results have been introduced in hydro geological conditions modeling of Kibray and Kuvanysh-Jarmin groundwater formations and in the units of the Scientific Production association SANIRI. Affordability from the realization of dissertation results amount to 3 million 390 thousand sum.

Sphere of usage: monitoring and decision arrival in conditions of fuzzy raw data systems, hydro geological and irrigation reclamation objects.



Подписано к печати 7.04.2008 г. Формат 60x84 1/16.
Усл. п.л 2. Тираж 100 экз. Заказ № 98.

Отпечатано в типографии ТГТУ. г.Ташкент,
ул.Талабалар 54. тел: 246-63-84.