

На правах рукописи

ШКУНДИНА Роза Александровна

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ
(НА ПРИМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКОЙ СТОЧНЫХ ВОД)**

**Специальность 05.13.01
Системный анализ, управление
и обработка информации**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Уфа 2006

Работа выполнена на кафедре технической кибернетики
Уфимского государственного авиационного технического университета

Научный руководитель д-р техн. наук, доцент
ЧЕРНЯХОВСКАЯ Лилия Рашитовна

Официальные оппоненты д-р техн. наук, проф.
ПАВЛОВ Сергей Владимирович

канд. техн. наук
КУЛИКОВ Олег Михайлович

Ведущая организация **Институт проблем управления сложными
системами Российской Академии Наук
(г.Самара)**

Защита диссертации состоится 10 ноября 2006 г. в 10⁰⁰ часов
на заседании диссертационного совета Д-212.288.03
Уфимского государственного авиационного технического университета
по адресу: 450000, г. Уфа, ул. К.Маркса, 12

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета

Автореферат разослан 6 октября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д-р техн. наук, проф.

В.В. Миронов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В условиях научно-технической революции, когда человечество вовлекает в свои производственные и хозяйственные нужды более половины запасов пресных вод, проблема сохранения качества воды становится чрезвычайно актуальной. Известно, что главным источником загрязнения водной среды являются сточные воды. Основная их масса в России (78,9% от общего объема очищенной воды) очищается на биологических очистных сооружениях, которые являются мощным защитным экраном.

В настоящее время более 70% станций очистки сточных вод (ОСВ) в России работают неэффективно по причине морального и физического износа оборудования, ошибок персонала. Ошибки персонала происходят вследствие недостатка данных для принятия решений, поскольку ряд значений параметров трудно определить. Кроме этого, присутствует недостаток теоретических знаний о взаимосвязях и взаимозависимостях между микроорганизмами, очищающими воду, и составом воды. Поэтому часто принимаются неправильные решения по управлению ОСВ, в связи с чем возникает проблема повышения их качества.

Повышение эффективности управления ОСВ первоначально достигалось за счет автоматизации управления на этапах наблюдения, сбора, обработки и анализа информации средствами пакетов математического анализа данных, внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП). Вопросами автоматизации обработки результатов наблюдений и анализа состояния водной среды занимались ведущие российские ученые: Н.Г.Булгаков, А.П. Левич, В.Н. Максимов, Л. Сазонова, и др., а также зарубежные ученые Д. Йохансен, Д.Л. Осмонд Г. Хартвигстен, и др. Автоматизации сбора, хранения и анализа данных недостаточно для того, чтобы управляющие (технологи, главные инженеры) очистными сооружениями смогли принимать эффективные решения по управлению процессом ОСВ – необходима автоматизация процесса поддержки принятия решений, отсутствующая в системах АСУТП. Под понятием «поддержка принятия решений» понимается совокупность процедур, обеспечивающих лицо, принимающее решение, необходимой информацией и рекомендациями, облегчающими процесс принятия решений. Повышение эффективности управления за счет автоматизации поддержки принятия решений, в том числе и на основе методов и средств искусственного интеллекта, рассмотрено в трудах В.И. Васильева, Т.А. Гавриловой, В.А. Геловани, В.М. Глушкова, Б.Г. Ильясова, А.Г. Мамиконова, Д.А. Поспелова, Ю.Ф.Тельнова, Э.А. Трахтенгерца, Л.Р. Черняховской, И.Ю. Юсупова, а также зарубежных ученых А. Аамодта, Р. Бергмана, М. Рихтера, и др. Исследования В.Е. Гвоздева, С.В.Павлова посвящены информационному обеспечению контроля и управления состоянием природно-технических систем. В последние годы такие зарубежные ученые, как С. Кровиди, М. Санчез-Марре, К. Федра, и др., разрабатывают системы, автоматизирующие процесс принятия решений на основе методов и средств искусственного интеллекта для управления ОСВ на очистных сооружениях. В то же время недостаточно исследованной является

проблема разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления процессом очистки сточных вод на основе интеграции нескольких методов и средств инженерии знаний, что обуславливает актуальность выбранного направления исследований.

Диссертационное исследование является составной частью исследований, проведенных в рамках гранта РФФИ (проект №03-07-90242 на 2003–2005гг.) по теме: «Интернет-комплекс поддержки выполнения проектов фундаментальных исследований сложных систем с применением интеллектуальных технологий на базе экспертных систем», а также поддержано грантом международной службы академических обменов ДААД (на 2004–2005 гг.).

Цель работы и задачи исследования

Целью настоящей работы является повышение эффективности управления за счет организации поддержки принятия решений и разработка моделей, методов и алгоритмов интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе онтологии (на примере управления очисткой сточных вод).

Для достижения поставленной цели решаются следующие **задачи**:

1. Предложить подход к поддержке принятия решений при управлении очистными сооружениями, обеспечивающий получение и интеграцию общих и специальных знаний о предметной области, поступающих из различных источников и описываемых различными моделями представления знаний: онтологией, правилами и прецедентами проблемных ситуаций.

2. Провести анализ и моделирование структуры объектов и динамики процессов их взаимодействия при управлении очисткой сточных вод. Разработать объектно-ориентированную модель интеллектуальной системы поддержки принятия решений, а также модель онтологии на основе объектно-когнитивного анализа.

3. Разработать структуру онтологической базы знаний в области управления процессом очистки сточных вод, позволяющую интегрировать различные модели представления знаний и синтезировать новые знания.

4. Разработать метод поиска решений в онтологической базе знаний, а также алгоритмическое и программное обеспечение, реализующее предложенный метод.

5. Разработать методику создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления процессом очистки сточных вод на основе объектно-когнитивного анализа.

6. Исследовать эффективность использования интеллектуальной системы поддержки принятия решений в процессе управления очисткой сточных вод в проблемных ситуациях для повышения качества очищенной воды.

Методы исследования

В работе использовались принципы и методы системного анализа, методологии объектно-ориентированного анализа и моделирования информационных систем, онтологического анализа, дескриптивная логика, методы искусственного интеллекта, интеллектуального анализа данных.

На защиту выносятся

1. Объектно-ориентированная модель процесса поддержки принятия решений в процессе управления очисткой сточных вод.
2. Модель онтологии процесса очистки сточных вод, отражающая основные категории и атрибуты управляемого процесса, а также отношения между ними.
3. Структура онтологической базы знаний, содержащая онтологию предметной области, интегрированную с правилами и онтологией прецедентов проблемных ситуаций.
4. Метод поиска решений в онтологической базе знаний, а также алгоритмическое и программное обеспечение, реализующее предложенный метод.
5. Методика разработки интеллектуальной системы поддержки принятия решений при управлении процессом очистки сточных вод.
6. Результаты исследования эффективности предложенной интеллектуальной системы для информационной поддержки персонала при управлении процессом очистки сточных вод.

Научная новизна

1. Новизна предложенного онтологического подхода к организации поддержки принятия решений при управлении очистными сооружениями состоит в том, что данный подход позволяет выявить и учесть скрытые взаимосвязи и взаимозависимости, сохранить целостность и непротиворечивость знаний в процессе их сбора, обработки и представления.
2. Новизна структуры онтологической базы знаний поддержки принятия решений состоит в интеграции общих и специальных знаний о предметной области в форме онтологии. Общие знания выявлены и сформированы на основе разработанной онтологической модели предметной области. Специальные знания представлены в форме онтологии прецедентов, отличительной особенностью которых является их объектная структура.
3. Новизна метода поиска решений заключена в использовании логического вывода на основе правил и вывода по аналогии на основе прецедентов, представленных в онтологической базе знаний. Отличительной особенностью метода является использование предложенных мер сходства классов онтологии и их свойств.
4. Новизна предложенной методики построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления процессом очистки сточных вод заключается в применении принципов объектно-когнитивного анализа на этапе моделирования, а также в интеграции моделей правил и прецедентов на основе онтологии на этапе формализации процесса поиска решений.

Практическая значимость

1. Разработанная онтологическая база знаний позволяет увеличить полноту информационного обеспечения и обучать персонал очистных сооружений.
2. Предложенная методика позволяет в автоматизированном режиме построить интеллектуальную систему поддержки принятия решений на основе онтологии.

3. Разработанное программное обеспечение интеллектуальной системы поддержки принятия решений позволяет при управлении очистными сооружениями принимать более качественные решения по выходу из проблемных ситуаций и их предотвращению.

Основные результаты диссертационной работы внедрены в виде информационного, алгоритмического и программного обеспечения интеллектуальной системы поддержки принятия решений, используемой при обучении и тренинге персонала ООО «Водоканал» г. Давлеканово, а также в учебном процессе Уфимского государственного авиационного технического университета при разработке методических указаний к лабораторным работам.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: «Интернет-технологии и современное информационное общество» (Третья Всероссийская научно-методическая конференция, Санкт-Петербург, 2000); «Системный анализ в проектировании и управлении» (Международная научно-практическая конференция, Санкт-Петербург, 2001, 2002, 2006); «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» (Международная научно-техническая конференция, Москва, 2003); «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» (7-й международный молодежный форум, Харьков, Украина, 2003) «Интеллектуальные системы управления и обработки информации» (Международная молодежная научно-техническая конференция, Уфа, 2003); «Компьютерные науки и информационные технологии – CSIT» (Международный симпозиум, Уфа, 2003, Карлсруэ, Германия, 2006); «Искусственный интеллект в XXI веке» (Всероссийская научно-техническая конференция, Пенза, 2003, 2005); «Проблемы управления и моделирования в сложных системах» (VI международная конференция, Самара, 2004); «Бизнес взаимодействие» (11-ая международная конференция, Мюнхен, Германия, 2005); «Меры сходства – процессы – автоматизация» (Международный симпозиум, Чикаго, США, 2005).

Публикации

Основные положения и результаты исследования по теме диссертации опубликованы и непосредственно отражены в 20 работах, в том числе в 8 статьях, из них 1 – в издании, входящем в список ВАК, 10 материалах и трудах конференций, 2 свидетельствах об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографии и пяти приложений. Работа содержит 181 страницу машинописного текста, 33 страницы приложений и 160 наименований библиографических источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится общая характеристика работы – обосновывается актуальность, формулируется цель и задачи исследования, перечисляются методы исследования, приводятся результаты, выносимые на защиту, отмечается их новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ проблемы поддержки принятия решений при управлении биологическими очистными сооружениями (ОС). Описаны основные элементы ОС, причины их неудовлетворительной работы. Управление системой ОСВ является нетривиальной задачей, на него оказывают влияние многие факторы. Необходимо учитывать неопределенности при анализе количественных и качественных характеристик состава воды, а также очищающего ее комплекса микроорганизмов. Существуют трудности при подборе оптимальных условий для существования комплексов организмов вследствие их изменчивости и их взаимовлияния и взаимозависимости. Кроме этого, реакция системы запаздывает относительно управляющих воздействий.

Проведен обзор и анализ существующих подходов к автоматизации процесса управления очисткой сточных вод. Сделан вывод о необходимости перехода от АСУТП к системам поддержки принятия решений (СППР) на основе искусственного интеллекта. Такие СППР относятся к классу интегрированных диалоговых интеллектуальных систем, предназначенных для оказания помощи в принятии решений на основе использования данных, документов, знаний и моделей анализа для идентификации и решения проблем.

В последние годы предпринимались попытки автоматизации поддержки принятия решений (ППР) по управлению процессом ОСВ. Проведенный анализ показал, что существующие СППР построены на основе правил, прецедентов, правил и прецедентов. Однако сформулированные правила не отражают предметной области (ПрО) в полной мере, они носят фрагментарный характер. СППР, основанные на прецедентах, содержат лишь знания экспертов только о конкретных проблемных ситуациях. Для полного описания процесса управления ОСВ необходимы как правила управления в проблемных ситуациях, так и актуальная информация, содержащаяся в прецедентах. Практика использования интегрированных систем на правилах и прецедентах показала, что причиной их неэффективного использования является отсутствие в них общих теоретических знаний о процессе управления, необходим контекст, который отсутствует в существующих системах и должен быть обеспечен с помощью словарей, тезаурусов и онтологий. Онтология понимается как структурная спецификация ПрО ОСВ, ее формализованное представление, которое включает словарь по управлению ОСВ и логические связи, описывающие, как термины ПрО соотносятся друг с другом. Онтология учитывает парадигматические отношения понятий, независимые от контекста решения задачи, и правила формирования переменных синтагматических отношений понятий, возникающих в некотором контексте решения задачи. Она решает задачу совместного и многократного использования знаний различными пользователями, задействованными в ОСВ и/или компьютерными программами.

Для повышения эффективности принятия решений предложено интегрировать на основе онтологии различные модели представления знаний, что обеспечит управляющих ОС необходимой количественной, качественной информацией о процессе ОСВ, содержащейся в нормативно-технической и регламентирующей документации, а также формализованными экспертными знаниями.

Построен контур управления процессом ОСВ, и определено место разрабатываемой интеллектуальной СППР в системе управления процессом ОСВ (рис. 1).

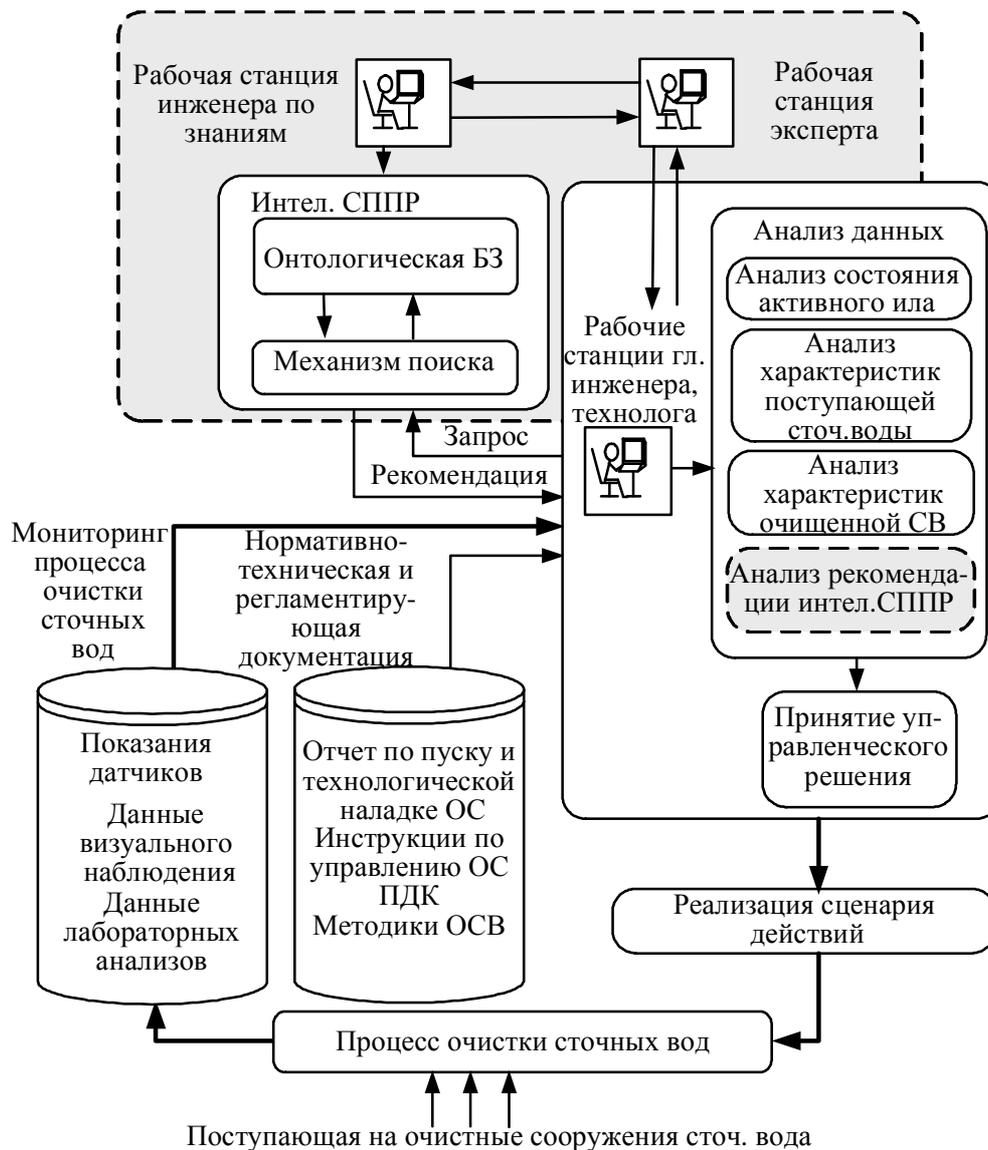


Рис. 1. Контур управления процессом ОСВ

Основными модулями разрабатываемой интеллектуальной СППР являются онтологическая база знаний (БЗ) и механизм поиска решений на основе онтологии. Онтологическая БЗ включает в себя онтологию процесса ОСВ (онтологию ПрО) и онтологию прецедентов (опыт экспертов по ликвидации проблемных ситуаций на ОС). Онтология ПрО содержит знания экспертов в области ОСВ: о химическом составе воды, ее физических свойствах, об основных группах организмов, очищающих сточные воды, о биоиндикаторах, а также о физических и технологических параметрах ОС, способах управления ими и т.д. Сформулированы правила возникновения проблемной ситуации (ПС) с учетом теоретических знаний, таких как, например, характеристики поступающей воды и специфических характеристик определенного ОС. Онтология прецедентов содержит опыт экспертов по выходу из ПС на конкретных ОС, и взаимодействует с онтологией ПрО посредством разработанного программного обеспечения на основе

механизма поиска. Данное программное обеспечение позволяет главному инженеру, технологу ОС получить рекомендацию о сценарии выхода из ПС, возникающих в процессе ОСВ.

Во второй главе проведен системный анализ и моделирование ПрО. Разработка интеллектуальной СППР была проведена в соответствии с методологией *RUP*. Моделирование системы выполнено на языке *UML*.

Разработана структура классов предметной области ОСВ по результатам проведенного объектно-когнитивного анализа. Были выделены классы сущностей в регламентирующих документах, на основании которых производится управление процессом (методики процесса ОСВ, инструкции по управлению ОС и др.). Определены субъекты, участвующие в процессе ОСВ («технолог», «гидробиолог» и др.); классы, отражающие процесс ОСВ («характеристика воды», «биологический объект», «оборудование», «управляющее воздействие» и др.), а также их атрибуты и методы.

Разработан комплекс объектно-ориентированных моделей интеллектуальной СППР. Архитектура интеллектуальной СППР предусматривает модульную структуру (рис.2).

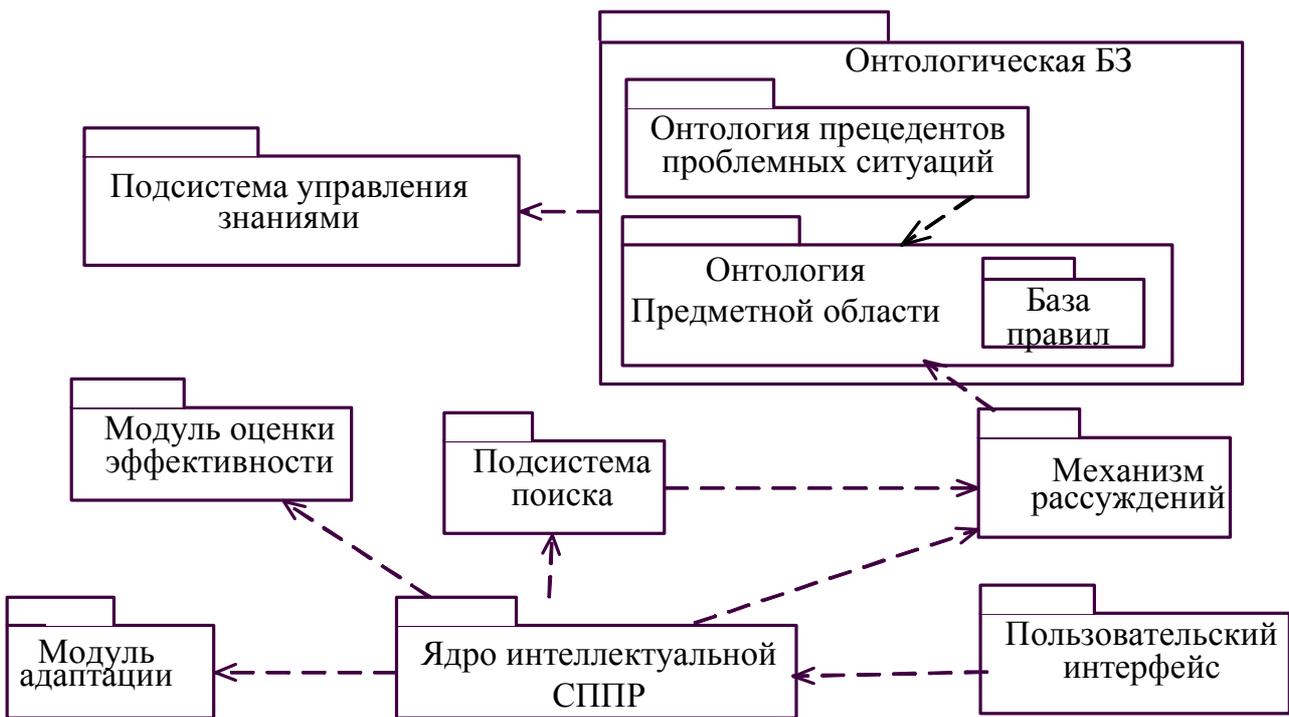


Рис.2. Модель архитектуры интеллектуальной системы поддержки принятия решений

В онтологии прецедентов проблемных ситуаций содержатся прецеденты, представленные экземплярами классов данной онтологии и ассоциированные с экземплярами классов онтологии ПрО посредством таких основных элементов описания прецедента как «описание ПС» и «решение ПС» (рис. 3). Экземпляры классов онтологии ПрО инкапсулируют данные о состоянии соответствующих объектов ПрО.

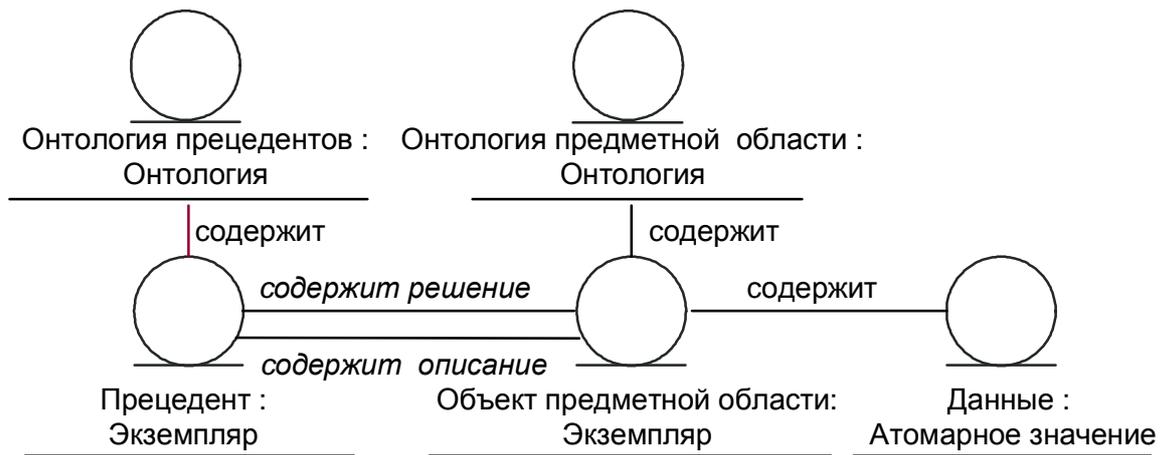


Рис 3. Структура онтологической базы знаний

Онтология ПрО и онтология прецедентов ПС построены в соответствии с разработанной моделью метаонтологии и являются ее экземплярами:

$$Onto^{meta} = \langle C^{meta}, I^{meta}, R^{meta}, V^{meta}, A^{meta} \rangle, \quad (1)$$

где $Onto^{meta}$ – метаонтология, C^{meta} – классы метаонтологии, I^{meta} – экземпляры метаонтологии, $R^{meta} = \{R, S, P\}$, R – парадигматические отношения: причинно-следственные, отношения обобщения и агрегации, S – синтагматические отношения, заданные дескриптивной логикой, P – свойства классов/экземпляров классов: «использует», «содержит» и т.д., V^{meta} – значения свойств (данные), A^{meta} – правила распознавания проблемной ситуации.

Для разрабатываемой модели онтологии ПрО предложен комплексный метод извлечения концептов и отношений, включающий этапы автоматизированного лингвистического анализа нормативно-технической и регламентирующей документации по ОСВ, анализа глоссария разработанного комплекса объектных моделей и оценок экспертов. Получена модель, декомпозирующая онтологию ПрО по степени абстракции в соответствии с уровнями иерархии. Верхний уровень включает классы: «объект», «вода», «оборудование», «вещество». Он характеризуется общими знаниями о процессе ОСВ. В каждом из этих классов были выделены подклассы, представляющие средний уровень онтологии – знания о специфике конкретного ОС. Они представлены на модели такими классами, как «биологическое очистное сооружение», «активный ил», «аэротенк» и т. д. Нижний уровень иерархии – экземпляры классов, предложено расположить в онтологии прецедентов.

Модель онтологии позволила выявить основные категории онтологии и связи между ними, которые описывают ПрО. Для обеспечения семантической связности в соответствии с принятым определением онтологии в форме логической теории, определены синтагматические отношения между ее элементами в виде продукционных правил. Они формируются с экспертами на основании разработанной модели онтологии и результатов проведенного кластерного анализа.

По результатам кластерного анализа сформированы правила распознавания ПС, определяющие состояние конкретного ОС, а также позволяющие точнее

определить границы возникновения ПС для конкретного ОС. Для определения количества кластеров (классов ПС) применен иерархический кластерный анализ. С учетом того, что рассматриваемые признаки представляют собой интервальные значения, выбран метод «связь между группами», а в качестве дистанционной меры – квадрат евклидова расстояния. С помощью метода k -средних было подтверждено, что исходное множество анализов воды было верно разбито на три предопределенных класса: «вспухание активного ила», «загнивание активного ила» и «токсический шок». Классы получились достаточно однородными и равномоощными.

Распознавание ПС состоит в том, чтобы на основании измерения и анализа вектора признаков A_i , принимающего числовые значения (данные анализов на ОС в определенный момент времени), отнести его к определенному классу возможных ПС (в случае, если производится оценка состояния поступающей воды) или к уже наступившей ПС (если анализируются характеристики активного ила):

$$A^n = \bigcup_{i=1}^n A_i, A_i = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_m)$$

$$A_i \cap A_j = \emptyset, i \neq j, y : A_i \Rightarrow Category \quad (2)$$

$$\forall (A_i \in A^n) \exists (category_j \in Category : y(A_i) = category_j)$$

Полученные объектно-ориентированные модели ПрО и интеллектуальной СППР стали основой для формализации онтологической БЗ, алгоритма поиска решений и написания программного обеспечения.

В третьей главе описана формализация интеллектуальной СППР в соответствии со стековой архитектурой *Semantic Web*. Применение такой архитектуры позволяет совместно и многократно использовать опыт пространственно распределенных экспертов: технологов, химиков, гидробиологов, микробиологов ОС в конкретных проблемных ситуациях с учетом общетеоретических знаний, то есть решать задачу в контексте, что, в свою очередь, повышает качество и обоснованность принимаемых решений. Формализация онтологической БЗ (O^{KB}) произведена на языке дескриптивной логики *OWL DL* (Ontology Web Language based on Description Logic) $O^{KB} = (A, F)$. Логические связи между классами и свойствами классов определены и представлены в форме аксиом (A), а между экземплярами классов и их свойствами и значениями – в форме фактов (F) дескриптивной логики. Разработанная на языке *OWL DL* онтология, основанная на аксиомах и фактах, преобразовывается в базу знаний *SHIQ (D)*. Она сведена к фрагменту логики первого порядка, процедуры логического вывода основаны на правиле резолюции.

Для того чтобы учесть числовые значения свойств классов онтологии ПрО, кроме аксиом и фактов использованы разработанные продукционные правила, необходимые для распознавания класса ПС. Полученные правила записаны на языке формализации онтологических правил *SWRL* (Semantic Web Rule Language) в виде дизъюнктов Хорна:

$$Rule A_n: C_1(?x) \wedge C_2(?y) \wedge P_1(?x, ?y) \wedge C_3(?x, ?z) \rightarrow C_2(?z, ?y), \quad (3)$$

где $(C_1, C_2, C_3) \in C$, C – множество классов в онтологии, $P_j \in P$, x, y – экземпляры или переменные, z – переменные или значения.

Прецедент (i^{cbr}_i) представлен в виде:

$$i^{cbr}_i = (category_i, i_name_i, Ds_i, Sl_i, Sc_i) \quad (4)$$

Каждый прецедент имеет имя i_name_i , на основании разработанных правил отнесен к одному из заранее определенных классов ПС $category_i$. Прецедент представляет собой объекты (классы и их свойства) онтологии ПрО, выраженные через совокупность параметров описания ПС Ds_i , ее решения Sl_i и сценария действий Sc_i по ее устранению. Описание ПС представляет собой множество пар {дескриптор, значение}, где значение – ссылка на объект-экземпляр класса онтологии ПрО, инкапсулирующего свойства определённого компонента системы ОСВ и описывающий определённый параметр (или набор параметров) состояния системы.

Существующие алгоритмы для организации процесса рассуждений на основе онтологии не позволяют производить анализ и сравнение свойств экземпляров типов. Разработан метод поиска и реализующий его алгоритм, который позволил учитывать как стандартные процедуры вывода на онтологии, так и поиск по аналогии, который дает возможность сопоставить текущую ПС с прецедентами в онтологии прецедентов ПС и выбрать наиболее подходящий из них (рис.4).

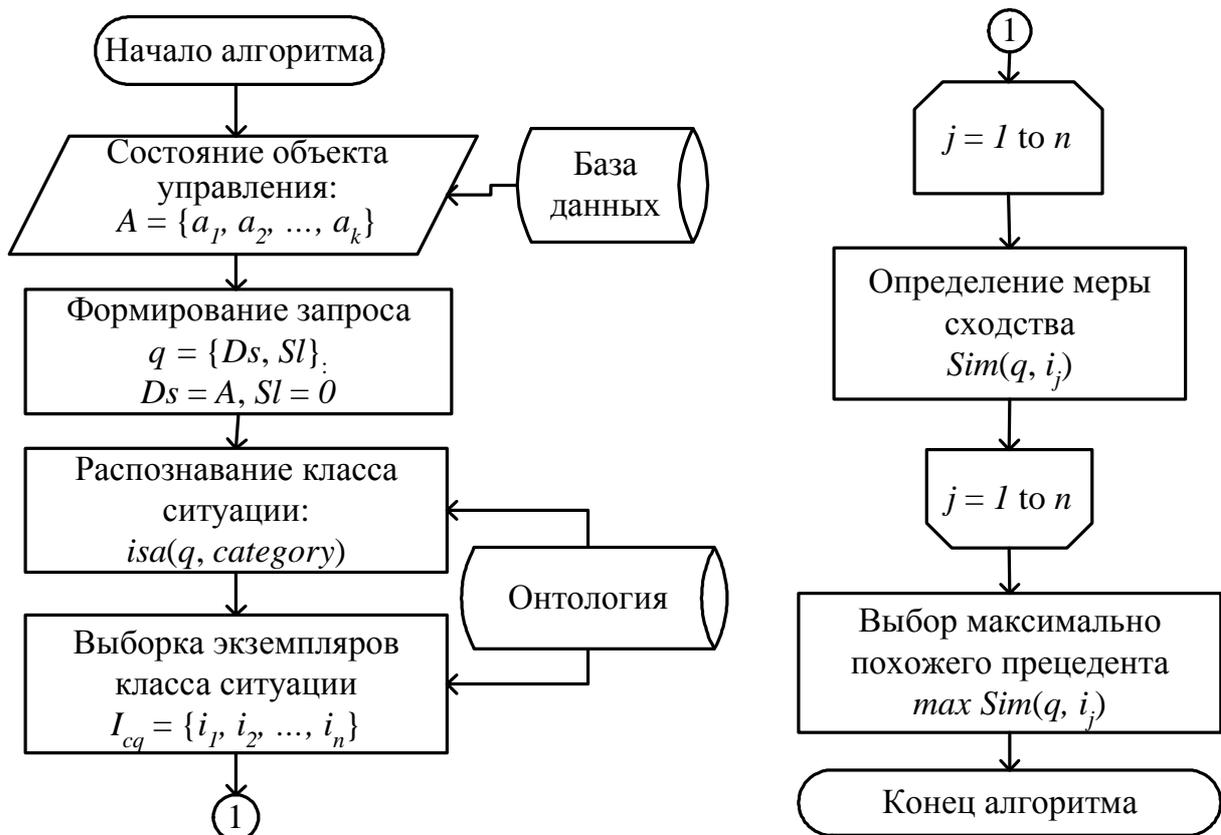


Рис.4. Алгоритм поиска прецедента в онтологической базе знаний

При инициализации процедуры поиска создаётся запрос q , представляющий собой набор экземпляров или классов, соответствующих заданным параметрам (a_i) . Сначала происходит определение класса ПС с использованием разработан-

ных правил классификации на основе стандартной процедуры отнесения запроса к одному из заранее определенных классов. Далее производится выборка всех экземпляров (I_{cq}) уже определенного класса ПС. Затем – сравнение запроса с прецедентами–экземплярами, хранящимися в базе с учётом отношений, заданных на онтологии.

При поиске использованы отношения «класс-класс» («*is-a*») и «часть-целое» («*part-of*») (формулы 5,6). Отношение «*is-a*» позволило при сравнении учесть степень таксономической близости концептов, «*part-of*» – атрибуты экземпляров. Для сравнения сложных атрибутов (экземпляр – часть экземпляра) алгоритм применен рекурсивно, при заданной максимальной глубине рекурсии. При этом произведено сравнение атрибутов только совместимых типов (имеющих атрибуты общего базового класса). Использована мера сходства Жаккара.

Локальная мера сходства для отношения «*is-a*»:

$$C_S(c_i) = \{c_j \in C : R(c_i, c_j) = "is - a" \vee c_i = c_j\}, \quad (5)$$

$$Sim_{is-a}(c_i, c_j) = \frac{|C_S(c_i) \cap C_S(c_j)|}{|C_S(c_i) \cup C_S(c_j)|},$$

где $C_S(c_i)$ – множество суперклассов класса C_i в онтологии, C – множество классов в онтологии, c_i, c_j – классы в онтологии, входящие в множество C , R – отношение «*is-a*» между классами.

Предложена локальная мера сходства для отношения «*part-of*»:

$$Sim_{po}(q, i_j) = \frac{\sum_{j=1}^l \sum_{k=1}^m fsm_t(a_j^q, a_k^{i_j}) * w_j}{l + m}, \quad t \in T, \quad a \in A, \quad (6)$$

где $a_1^q \dots a_j^q, a_1^{i_j} \dots a_k^{i_j}$ – атрибуты сравниваемых экземпляров с совпадающими названиями и типами, l, m – количество атрибутов в каждом из экземпляров, fsm_t – функция сравнения простых атрибутов предопределенных типов T . $T = \{“string”, “integer”, “float”, “boolean”\}$, w_j – вес, присвоенный атрибуту j .

Для сравнения значений атрибутов числовых типов использована нормированная дистанция. Значения атрибутов строковых типов сравниваются посимвольно и, в зависимости от атрибута, используется мера сходства либо допускающая искажения (расстояние Хэмминга), либо не допускающая искажений, т.е. строгое посимвольное сравнение.

После того, как рассчитаны локальные меры сходства элементов запроса и прецедентов определенного класса, вычисляется глобальная мера сходства:

$$Sim_I(q, i_j) = \frac{sim_{is-a}(q, i_j) * w_{is-a} + sim_{po}(q, i_j) * w_{po}}{2}, \quad (7)$$

где q – запрос, i_j – прецедент, w_{is-a}, w_{po} – веса отношений «*is-a*», «*part-of*».

В соответствии с предложенными моделями и алгоритмами разработана методика автоматизированного проектирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе онтологии. Особенность предложенной

методики заключается в применении принципов объектно-когнитивного анализа на этапе моделирования, а также в интеграции моделей правил и прецедентов на основе онтологии на этапе формализации процесса поиска решений

В четвертой главе описана практическая реализация предложенной интеллектуальной СППР на примере поиска решения для проблемной ситуации «вспухание активного ила». Для разработки, управления и визуализации онтологической БЗ использовано средство *Protégé 3.1*. Разработана онтологическая БЗ, включающая 139 классов со свойствами и их значениями. Фрагмент онтологической БЗ, содержащий описание прецедента ПС представлен на рис. 5.

Механизм рассуждений и подсистема поиска реализованы на основе разработанных объектных моделей. В качестве базового программного обеспечения, позволяющего производить логический вывод на онтологии, использован программный продукт KAON2. В среде *Eclipse 3* на языке *Java* разработан программный продукт для сравнения свойств экземпляров. Также разработан графический интерфейс пользователя на основе библиотеки *SWT* (Standard Widgets Toolkit).

Проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности интеллектуальной СППР. В процессе имитационного моделирования с использованием аппарата сетей Петри были выделены основные этапы принятия решений с применением рекомендаций от интеллектуальной СППР и без него.

Интеллектуальной СППР необходимо выдавать такие рекомендации технологу, выполнение которых обеспечит прекращение роста микроорганизмов, вызывающих нарушение работы ОС, и рост микроорганизмов, характеризующих хорошо работающий ил. Для рассматриваемого прецедента ПС «вспухание активного ила» решением являлось прекращение роста микроорганизмов, вызывающих проблемы на ОС, переход их в стационарную фазу роста, а также вступление микроорганизмов, характеризующих хорошо работающий ил в логарифмическую фазу роста. В логарифмической фазе рост бактерий происходит по экспоненте в соответствии с дифференциальным уравнением: $dx/dt = \mu X$, где dx/dt – скорость роста бактерий, μ – удельная скорость роста, вычисляемая с помощью уравнения Моно, X – мгновенная концентрация бактерий в момент времени t . Стационарная фаза характеризуется тем, что при нарастании концентрации субстрата число клеток не изменяется со временем: $dx/dt = 0$.

В результате эксперимента получена оценка частотных характеристик формирования рекомендаций по принятию решений, которая показала эффективность диагностики ПС и принятия решений в процессе управления ОСВ с использованием интеллектуальной СППР. Таким образом, выявлено, что использование интеллектуальной СППР позволяет обеспечить повышение качества принимаемых решений, выражающееся в повышении качества очищенной сточной воды.

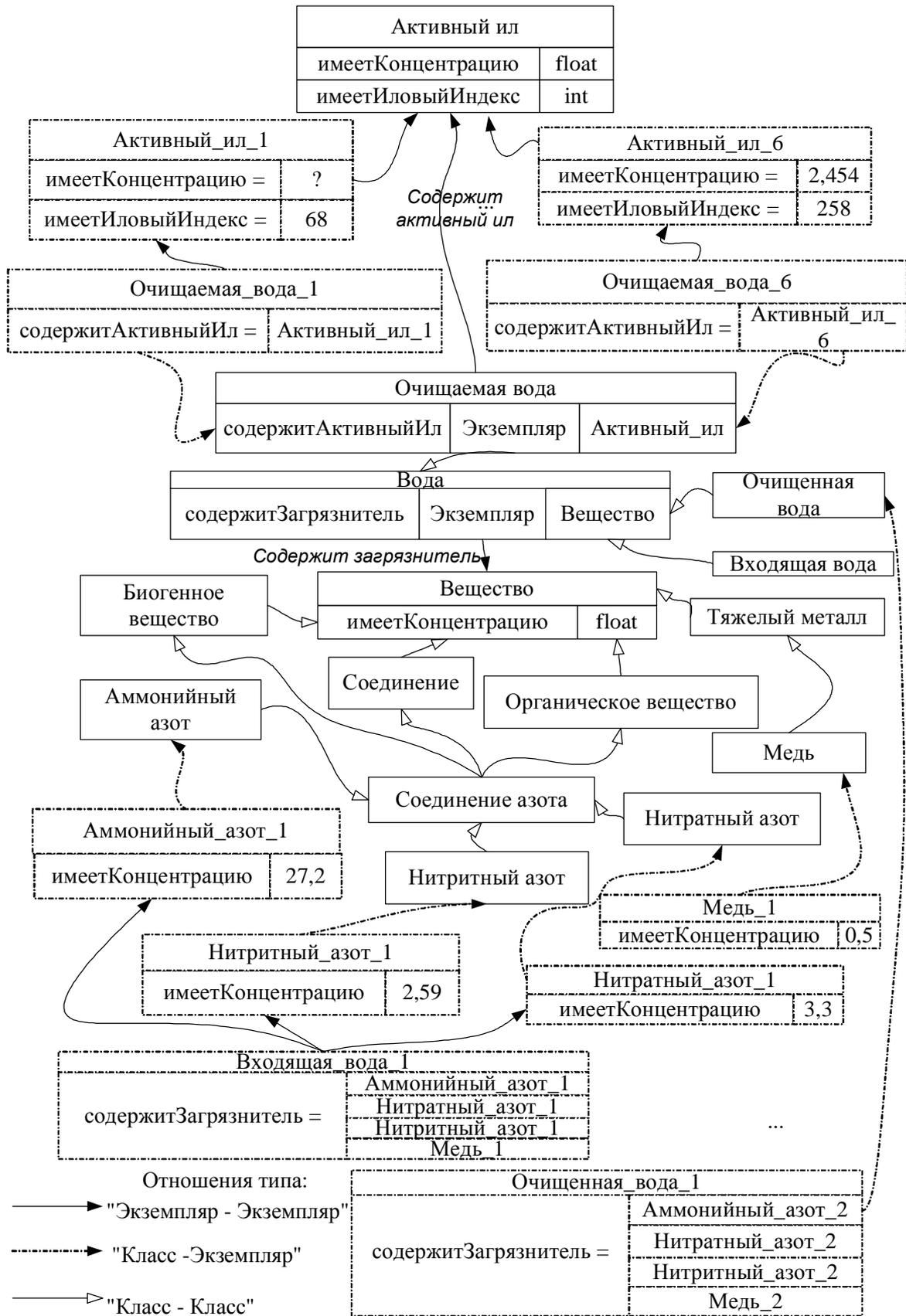


Рис. 5. Пример прецедента в онтологической базе знаний

Приложения содержат комплекс объектно-ориентированных моделей процесса очистки сточных вод и интеллектуальной СППР, примеры проектов по

разработке онтологий, *OWL* код онтологии, фрагменты программного кода реализации модулей интеллектуальной СППР.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Предложен онтологический подход к разработке информационных систем в области поддержки принятия решений по управлению процессом очистки сточных вод на основе инженерии знаний, обоснована его необходимость. Сущность подхода состоит в получении и интеграции экспертных знаний в форме онтологии, правил и прецедентов, что позволяет обеспечить более полное представление знаний об управляемом процессе.

2. На основе результатов проведенного анализа и моделирования структуры объектов и динамики процессов их взаимодействия при управлении очисткой сточных вод разработана объектно-ориентированная модель, определяющая структуру интеллектуальной системы поддержки принятия решений, а также необходимые операции для поддержки принятия решений. В результате объектно-когнитивного анализа разработана модель онтологии процесса управления очисткой сточных вод.

3. Разработана онтологическая база знаний поддержки принятия решений при управлении процессом очистки сточных вод, отличительной особенностью структуры которой является интеграция общих и специальных знаний о предметной области в форме онтологии. Интеграция моделей стала основой синтеза новых знаний, позволила обеспечить необходимую полноту и точность знаний.

4. Разработан метод поиска решений, включающий логический вывод на основе правил и вывод по аналогии на основе прецедентов, представленных в онтологической базе знаний. Отличительной особенностью метода является использование предложенных мер сходства классов онтологии и их свойств. Для реализации метода разработано алгоритмическое и программное обеспечение в соответствии со стандартами семантической сети (Semantic Web), что обеспечивает взаимодействие управляющих очистных сооружений и специалистов-экспертов, участвующих в разработке онтологической базы знаний и принятии решений.

5. Разработана методика проектирования интеллектуальной СППР. Особенность предложенной методики заключается в применении принципов объектно-когнитивного анализа на этапе моделирования, а также в интеграции моделей правил и прецедентов на основе онтологии на этапе формализации процесса поиска решений.

6. Разработана имитационная модель оценки эффективности с применением аппарата сетей Петри. Установлено, что использование интеллектуальной системы поддержки принятия решений в проблемных ситуациях повышает эффективность принятия решений, выражающееся в повышении качества очищенной сточной воды.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ

В рецензируемом журнале из списка ВАК

1. Интеллектуальный анализ данных мониторинга биологических очистных сооружений / Ф.Б. Шкундина, В.А. Книсс, Р.А. Шкундина, Л.А. Таминдарова // Экология и промышленность России: обществ. науч.-техн. журн. М. : сентябрь 2006. С. 35–37.

В других изданиях

2. Подход к реализации интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений на основе Intranet-технологий / Л.Р. Черняховская, М.М. Низамутдинов, Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Интернет-технологии и современное информационное общество: Всерос. объединенная конф. СПб. : 2000. С. 262–263.

3. Организация поддержки принятия решений при управлении бизнес-процессами на основе Web-технологий / Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Информационные технологии в экономике, бизнесе и образовании: 5 междунар. студенч. конгресс. М. : МЭСИ, 2001. С. 126–127.

4. Свид. об официальной рег. программы для ЭВМ №2001610469. Автоматизированная информационно-поисковая система на основе проблемно-ориентированного тезауруса / Л.Р. Черняховская, М.М. Низамутдинов, М.С. Угрюмов, Р.А. Шкундина. РосПатент, 2001.

5. Использование результатов объектно-ориентированного моделирования для поддержки принятия решений / Л.Р. Черняховская, Н.И. Федорова, Р.А. Шкундина // Системный анализ в проектировании и управлении: тр. VI междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2002. С. 46–48.

6. Использование информационных моделей представления знаний для разработки систем мониторинга биоразнообразия / Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: материалы VII междунар. молодежн. форум. Харьков, 2003. С. 300.

7. Разработка информационной структуры ситуационной базы знаний / Л.Р. Черняховская, Ю.Дж. Мюлле, Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT'2003: материалы V междунар. конф. Уфа : УГАТУ, ООО «Виртуал», 2003. Т.1. С. 74–78 (Статья на англ. языке).

8. Объектно-ориентированные модели представления корпоративных знаний / Л.Р.Черняховская, Р.А. Шкундина, И.В. Осипова // Успехи современного естествознания: науч.-теорет. журн. М. : Академия Естествознания, 2003, №7. С. 88.

9. Методика разработки нечеткой базы знаний для системы экомониторинга / Р.А.Шкундина // Успехи современного естествознания: науч.-теорет. журн. М. : Академия Естествознания, 2003, №11. С. 139.

10. Моделирование ситуационной базы знаний на основе объектно-когнитивного анализа / Л.Р. Черняховская, Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Искусственный интеллект в XXI веке : сб. статей всерос. науч.-техн. конф. Пенза, 2003. С. 22–24.

11. Проблемы экологического мониторинга на основе знаний / Р.А. Шкундина // Интеллектуальные системы управления и обработки информации: тр. всерос. молодежн. науч.-техн. конф. Уфа : УГАТУ, 2003. С. 207.

12. Разработка объектно-ориентированных моделей представления знаний в критических ситуациях/ Б.Г. Ильясов, Л.Р. Черняховская, Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов Е.Б. Старцева, // Вопросы управления и проектирования в информационных и кибернетических системах : межвуз. научн. сб. Уфа : УГАТУ, 2003. С. 119–124.

13. Поиск решений в базе прецедентов критических ситуаций / Л.Р.Черняховская, Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов, Н.И. Федорова // Алгоритмы и программы: бюллетень ВНТИЦ. Реф. 2003. № 1. № 50200200180. Порядк. № 2003.01.0114.

14. Интеграция моделей знаний на основе объектно-когнитивного анализа / М.Б. Гузаиров, Р.А. Бадамшин, Б.Г. Ильясов, Л.Р. Черняховская, Р.А. Шкундина // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. VI междунар. конф. Самара: Самарск. науч. центр РАН, 2004. С. 197–201.

15. Организация поддержки принятия решений при управлении бизнес процессами на основе объектно-когнитивного анализа / Л.Р. Черняховская, К.Р.Нугаева, Р.А. Шкундина, П.В. Муксимов // Бизнес – взаимодействие: сб. статей 11 междунар. конф. Мюнхен, Германия, 2005. С. 41–44. (Статья на англ. яз.)

16. Определение меры сходства для контекстов задач / Р.А. Шкундина, С.Шварц // Меры сходства – процессы – автоматизация : междунар. симп. Вывод на основе прецедентов: сб. статей VI междунар. конф. Чикаго, США, 2005, С. 261–270. (Статья на англ. яз.).

17. Организация поддержки принятия решений на основе прецедентов с помощью онтологии предметной области (на примере очистных сооружений) / Р.А. Шкундина // Искусственный интеллект в XXI веке : сб. статей всерос. науч.-техн. конф. Пенза, 2005. С. 70–72.

18. Формирование предметной онтологии / Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Системный анализ в проектировании и управлении: тр. междунар. науч.-практ. конф. СПб. : Изд-во СПбГПУ, 2006. С. 285–288.

19. Современное состояние и перспективы автоматизированного управления очистными сооружениями предприятий нефтеперерабатывающей промышленности / Р.А. Шкундина // Нефтегазовое дело [Электронный ресурс] : электрон. журн. Уфа : УГНТУ, 2006. 9 с. (www.ogbus.ru).

20. Разработка онтологической базы знаний для процесса управления очисткой сточных вод / Л.Р. Черняховская, Ю.Дж. Мюлле, Р.А. Шкундина, М.С. Угрюмов // Компьютерные науки и информационные технологии CSIT'2006: материалы VII междунар. конф. Карлсруэ, Германия, 2006. Т. 1. С. 164 –168. (Статья на англ. языке).

ШКУНДИНА Роза Александровна

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА
ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ
(НА ПРИМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТКОЙ СТОЧНЫХ ВОД)

Специальность 05.13.01
Системный анализ, управление
и обработка информации

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано к печати 22.09.2006 г. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 1,0. Усл. кр.-отт. 0,9. Уч.-изд. л. 0,9.
Тираж 100 экз. Заказ № 474

Уфимский государственный авиационный технический университет
Центр оперативной полиграфии УГАТУ
450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12