

Л. Р. ЧЕРНЯХОВСКАЯ, Р. А. ШКУНДИНА, К. Р. НУГАЕВА

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Представлен подход к автоматизации управления сложными системами в проблемных ситуациях на основе разработки интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений. Разработана концепция функционирования интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений в проблемных ситуациях, основанная на обработке знаний о процессе управления в проблемных ситуациях. Предложена иерархическая структура системы, включающая базу знаний с различными моделями представления знаний на разных уровнях поддержки принятия решений, а также механизм вывода рекомендаций с использованием предметных, универсальных и метазнаний. *Инженерия знаний; онтология; база знаний; система поддержки принятия решений*

### ВВЕДЕНИЕ

Ключевым вопросом повышения качества управления сложными системами является повышение эффективности принятия решений в проблемных ситуациях. Трудности, возникающие в процессе принятия решений, заключаются в наличии факторов неопределенности, таких как неопределенность и недостаточность знаний о значении характеристик объектов в проблемных ситуациях, о целях и о ресурсах управления, в том числе временных, и другие виды неопределенностей при определении состояния объекта; наличие проблемы выбора наиболее информативных признаков проблемных ситуаций из большого количества параметров состояния объекта, которые можно получить и проанализировать за ограниченное время; необходимость анализа значительного количества признаков проблемных ситуаций качественной природы, слабо поддающихся аналитической обработке; дефицит времени на принятие решений и значительная психологическая нагрузка на управляющий персонал.

Принятие правильных и своевременных решений управляющим должно быть поддержано предоставлением советующей информации, содержащей возможные альтернативы решений, выработанные в результате инструментального анализа возникшей проблемной ситуации, а также на основе знаний в области управления объекта, накопленными экспертами. Поэтому весьма актуально использование поддержки принятия решений в проблемных ситуациях с интеллектуальной информационно-аналитической системой, разработанной на принципах инженерии знаний в рассматриваемой предметной области. Инженерия знаний здесь определяется как совокупность методов и средств извлечения, накопления, обработки, представления и синтеза знаний. В данной работе предложен подход к применению инженерии знаний, основанный на моделировании знаний экспертов и их методов решения проблем в предметной области.

### 1. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ

Системы поддержки принятия решений (англ. Decision Support System) представляют собой специфический класс автоматизированных информационных систем, которые поддерживают деятельность по принятию решений. Эти системы помогают специалистам выбрать и/или сформировать нужную альтернативу среди множества вариантов при принятии ответственных решений, своевременно предоставляя необходимую информацию. Таким образом, более точным наименованием системы, принадлежащей данному классу, является «Информационная система поддержки принятия решений» (ИСППР). Подобные системы относятся к классу интегрированных интеллектуальных систем, сочетающих строгие математические методы и модели поиска решения с эвристическими, лингвистическими моделями и методами, базирующимися на знаниях специалистов – экспертов, моделях человеческих рассуждений и накопленном опыте. ИСППР – диалоговая система, которая обеспечивает пользователю доступ к моделям принятия решения и данным для того, чтобы поддерживать слабоструктурированные и неструктурированные задачи принятия решения. В составе ИСППР средства искусственного интеллекта составляют экспертную подсистему, основанную на базе знаний и механизме логического вывода. Система обеспечивает поддержку лицу, принимающему решения, помогая в организации информации на основе базы знаний, формировании решений на основе логического вывода и обеспечивая доступ к результатам моделирования.

ИСППР должна соответствовать перечисленным ниже требованиям:

Информационная система поддержки принятия решений, анализируя данные о конкретной проблемной ситуации, знания и модели, должна давать актуальную и достоверную информацию, чтобы обосновать выбор альтернативы принятия решений



и, кроме этого, сопровождающие пояснения пользователю.

В составе ИСППР должна быть база знаний о процессах управления в проблемной ситуации и база данных описания проблемных ситуаций.

ИСППР должна содержать средства дедуктивного логического вывода (для формирования рекомендаций в реальном времени) и индуктивного вывода (на стадии интеллектуального анализа данных), а также средства, имитирующие рассуждения по аналогии, для поиска прецедентов проблемных ситуаций.

В составе ИСППР должны быть средства общения с удаленными пользователями, необходимые для предоставления рекомендаций и объяснения рекомендуемого решения.

Важной функцией ИСППР должна стать способность автоматического обнаружения противоречий между знаниями, уже имеющимися в базе знаний, и новыми, поступающими от экспертов или от программ автоматизированного извлечения знаний из данных.

Время формирования рекомендации ИСППР должно находиться в пределах резервного времени для данного типа сложного динамического объекта и для соответствующего класса проблемных ситуаций.

Структура ИСППР, построенной на принципах использования интеллектуальных технологий обработки информации, показана на рис. 1.

Для разработки системы поддержки принятия

решений предложена методология объектно-когнитивного анализа [6].

## 2. МЕТОДОЛОГИЯ ОБЪЕКТНО-КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

В пространстве знаний информационной системы поддержки принятия решений выделены следующие знания:

- семантические метазнания, представленные в предметной онтологии;
- формальные знания, представленные в виде правил продукций (база правил), на основе которых осуществляется логический вывод решения в проблемной ситуации;
- знания о прошлых проблемных ситуациях и принятых управляющих решениях (прецеденты);
- фактографические данные, получаемые в результате мониторинга состояния сложной динамической системы.

Основой интеграции указанных различных моделей представления знаний является единое информационное пространство когнитивных элементов проблемных ситуаций, сформированное в результате объектно-когнитивного анализа и моделирования процесса управления сложными системами в проблемных ситуациях.

Целью моделирования является системное описание знаний, используемых в процессе управления сложными динамическими объектами в про-



Рис.1. Структура информационной системы поддержки принятия решений



блемных ситуациях.

В процессе исследования выявлены такие проблемы моделирования знаний, как проблема представления знаний в качестве семантических отношений между объектами предметной области, проблема моделирования знаний о динамике поведения объектов, проблема моделирования операций и методов обработки знаний для формирования рекомендаций по принятию решений. Для решения перечисленных проблем предложена методология разработки ИСППР, основой которой является объектно-когнитивный анализ предметной области, интегрирующий методы объектно-ориентированного анализа, онтологического анализа и семантической сети представления знаний [1].

Объектно-ориентированный анализ – способ анализа, изучающий требования к системе с точки зрения будущих классов и объектов, основываясь на словаре предметной области [2].

Онтологический анализ – это уровень анализа знаний, в основе которого лежит описание предметной области в терминах сущностей, отношений между ними, и действий над сущностями [3].

Семантический анализ – это анализ предметной области, направленный на описание и идентификацию базовых элементов предметной области, установление взаимосвязей (отношений) между ними и определение характеристик отношений [4].

Разработаны следующие принципы объектно-когнитивного анализа:

- принцип иерархической декомпозиции знаний, основанный на применении различных форм абстрактного представления знаний и полиморфизме описания отношений между объектами семантической сети и полиморфизме механизмов логического вывода;
- принцип наследования свойств, основанный на отношении «класс – подкласс» в описании понятий в различных формах абстракции представления знаний;
- принцип интеграции онтологического анализа и семантического моделирования предметной области на основе иерархии понятий;
- принцип введения понятий в онтологию предметной области на базе объектно-ориентированного моделирования процесса управления в проблемных ситуациях;
- принцип осмысления понятия сходства в семантических сетях на основе кластерного анализа терминов предметной области и разработки онтологии.

Объектно-когнитивный анализ предметной области включает следующие основные этапы. Вначале, в соответствии с методологией объектно-ориентированного анализа, выделяется множество значимых сущностей из этой области (множество классов и объектов). Затем идентифицируются значимые отношения, которые существуют между классами и объектами предметной области. На следующем этапе определяется, какие операции взаи-

модействия объектов представляются важными, и моделируется поведение объектов. По результатам моделирования на основе онтологического анализа разрабатывается предметно-ориентированная онтология. В заключение значимые отношения оформляются синтаксически, то есть при помощи аксиом.

При моделировании ИСППР предложено использовать специальные методы и средства объектно-ориентированного моделирования предметной области, разработанные для проектирования информационных систем, чтобы воссоздать концептуальную модель экспертов в формализованной модели представления знаний. Разработаны принципы представления знаний с использованием языка объектно-ориентированного моделирования Unified Modeling Language (UML). Объектный подход содержит набор моделей, связанных с понятием класса/объекта, объединяющего данные (состояние) и поведение. На рис. 2 показана концептуальная модель ИСППР, устанавливающая отношения между вышеперечисленными компонентами представления знаний.

Комплекс моделей является основой разработки базы знаний информационной системы поддержки принятия решений. Предложены методы и средства преобразования моделей в различные объектно-ориентированные нотации программирования и хранения знаний.

Таким образом, результатами объектно-когнитивного анализа являются формальные описания отношений между абстрагированными понятиями и сущностями, являющимися базовыми объектами предметной области (когнитивными элементами).

Модель семантического анализа проблемной ситуации можно представить в виде семантической сети (рис. 3), позволяющей определить цели моделирования ИСППР и сформулировать требования к результатам моделирования. Семантическая сеть – обобщенная модель предметной области, имеющая вид графа  $CC(A, R)$ , в котором вершины  $a_i \in A$  соответствуют объектам предметной области, а дуги  $r_j \in R$  – отношениям между ними,  $A \neq \emptyset$ ,  $R \neq \emptyset$ . В семантической сети соединено как метазнание, так и семантическое предметное знание.

Конкретизация обобщенного представления проблемной ситуации в рассматриваемой предметной области, особенно в части логических отношений, позволяет использовать логическую дедукцию для построения систем принятия решений. Обработка знаний при таком подходе базируется на использовании интерпретаторов семантических сетей, основанных на инференциальных (дедуктивных) возможностях семантических сетей и реализующих механизмы логического вывода, механизмы поиска, анализа, определения и конструирования объектов, составляющих семантическую сеть.

В семантической сети можно выделить отношения, которые особенно важны для представления и поиска знаний в системе принятия решений: ло-



гические отношения, каузальные отношения, отношения синонимии, зависимости и реализации. Эти отношения характеризуют совместимость отдельных событий или фактов в проблемной ситуации, одновременность или последовательность явлений и т. д.

Они позволяют строить причинно-следственные связи, процедуры проверки целостности и непротиворечивости знаний. Для моделирования этих

отношений требуются специальные модели представления интенциональных знаний, подобные моделям, используемым в базах знаний.

Интеграция показанных выше моделей представления знания осуществляется на основе онтологического анализа.

Онтологический анализ – аналитическая работа с целью определения и объединения релевантных информационно-логических и функциональных

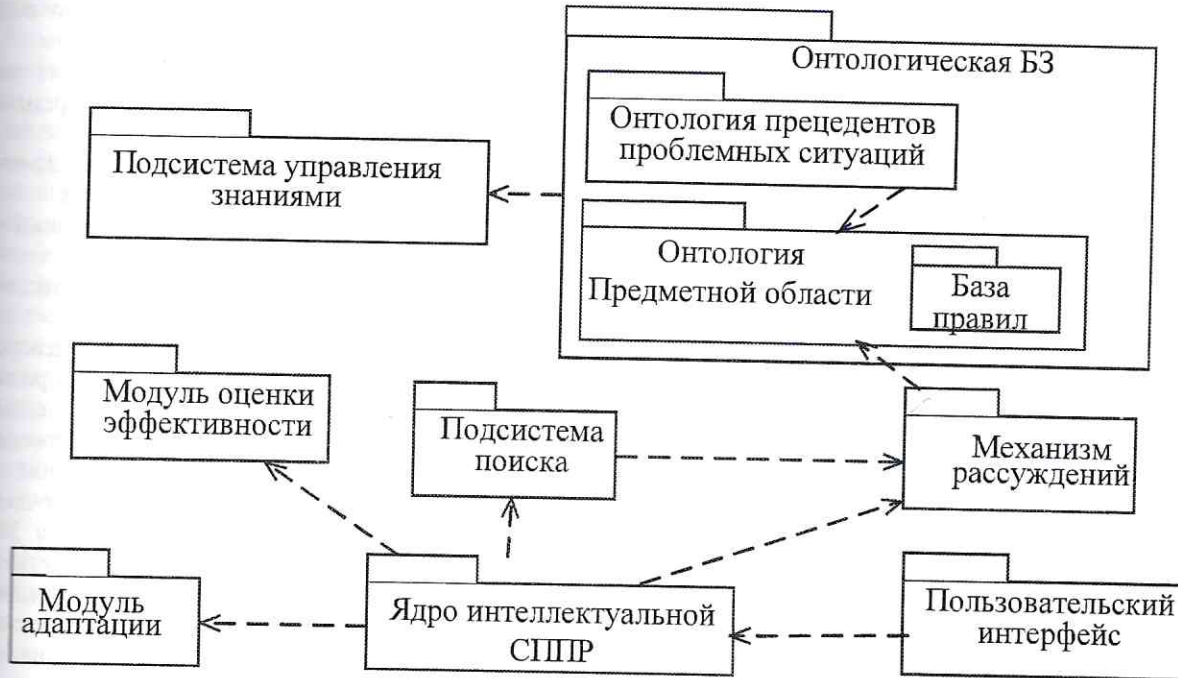


Рис.2. Модель архитектуры интеллектуальной системы поддержки принятия решений

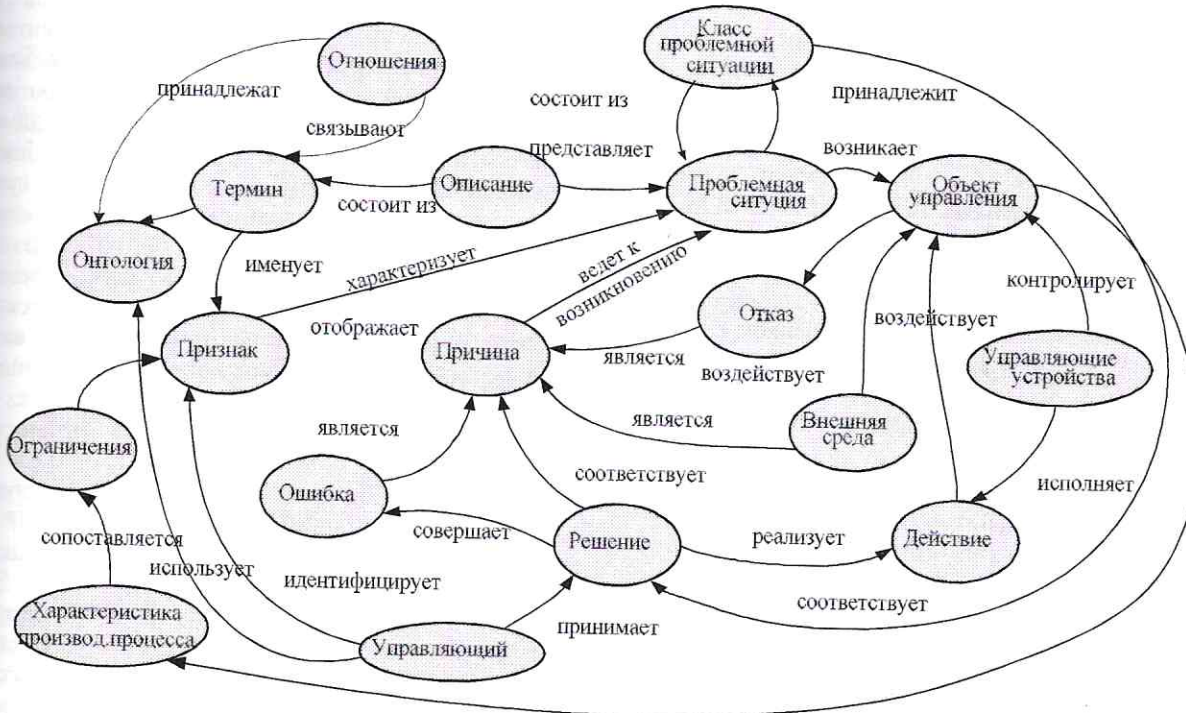


Рис.3. Семантическая сеть процесса управления в проблемной ситуации



аспектов исследуемой системы в соответствующей содержательной онтологии [3]. Онтологический анализ направлен на исследование и интерпретацию системных связей в сложных предметных областях с применением методов и средств компьютерного моделирования.

Современное определение термина «онтология» в теории искусственного интеллекта неоднозначно; для практического использования наиболее подходящим является определение онтологии как знаний, формально представленных на базе концептуализации. Концептуализация предполагает описание множества объектов и понятий, знаний о них и связей между ними. Под формальной моделью  $M^O$  онтологической системы [3] понимается триада вида:

$$M^O = \langle O^{meta}, \{O^{app}\}, Inf^F \rangle,$$

где  $O^{meta}$  – онтология верхнего уровня (метаонтология);  $\{O^{app}\}$  – множество предметных онтологий и онтологий задач предметной области;  $Inf^F$  – модель машины вывода, ассоциированной с онтологической системой  $M^O$ . Сущностями метаонтологии  $Onto^{meta}$  являются такие понятия, как «объект», «атрибут», «значение», «отношение» и т. п. Наполненная предметная онтология  $Onto_i^{app}$  может рассматриваться как компонент базы знаний при работе с конкретной предметной областью и являться, в свою очередь, шаблоном для построения динамического компонента базы знаний, изменяющегося при переходе от исследования одной конкретной задачи к другой.

### 3. ПРИМЕРЫ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

#### 3.1. Онтологический подход к разработке ИСППР для управления процессом очистки сточных вод

В последнее время все более актуальной становится задача очистки воды, используемой человеком в производственных, сельскохозяйственных, бытовых нуждах. Большая часть сточных вод очищается на биологических очистных сооружениях.

Управление работой очистных сооружений (ОС) является сложной задачей, связанной с особенностями состояния, функционирования ОС, а также учетом человеческого фактора. Факторы, усложняющие процесс управления очисткой сточных вод (ОСВ):

1. ОСВ – это непрерывный в пространстве и времени процесс, осуществляемый в режиме запаздывания реакции системы, и зависящий от многих входных сигналов. Сигналы эти являются разнородными, поступают с разной периодичностью, на обработку части из них необходимо время, а также специальные лабораторные условия и дорогостоящие реактивы. Показателями, используемыми в качестве входных и выходных сигналов, являются данные мониторинга.

ОС функционируют частично за счет деятельности разнообразных живых организмов, чьи реакции на воздействие входных параметров специфичны и взаимозависимы. Оптимальные условия для существования комплексов организмов, осуществляющих ОСВ, весьма сложно подбирать вследствие изменчивости этих комплексов в зависимости от состава сточных вод.

2. Условия неопределенности у оператора-технолога, осуществляющего принятие решений по управлению ОСВ. Неопределенность можно подразделить на следующие виды:

- недостаток параметров для принятия решений вследствие ограниченного резерва времени и высокой стоимости проведения анализов;
- неполнота, неточность естественно-языковых инструкций для принятия решений;
- недостаточность теоретических знаний о предметной области;
- отсутствие учета особенностей функционирования конкретного ОС.

Для учета вышеперечисленных видов неопределенности необходима поддержка принятия решений ЛПР на очистных сооружениях. В последние годы уже были предприняты попытки приложения автоматизации поддержки принятия решений к решению проблем очистки сточных вод на очистных сооружениях (Федра К., Санчес-Марре М., Кровиди С. и др.). Существующие системы поддержки принятия решений на основе искусственного интеллекта в области управления процессом очистки сточных вод построены в основном на основе правил. Сформулированные правила не отражают предметной области (ПрО) в полной мере, они носят фрагментарный характер. Также существуют СППР, основанные только на прецедентах, которые содержат лишь знания экспертов о конкретных ситуациях. Для полного описания процесса управления очисткой сточных вод 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. Проведенный анализ показал, что необходим контекст управления, который отсутствует в существующих системах и наращивается с помощью разработки онтологий [7].

Для формирования онтологии процесса управления ОСВ были применены методологии RUP и ОКА. Была разработана концептуальная модель онтологии, представленная в нотации UML 2.0 (рис. 4). Концептуальная модель позволяет визуализировать с помощью UML 2.0 семантически связанную структуру ПрО и выявить новые классы, атрибуты, их значения и отношения между ними. Данная модель позволяет объединить понятия из нормализованного словаря предметной области,



полученного на основе лингвистического анализа методик, инструкций по ОСВ и глоссария, сформированного из объектных моделей сначала в семантической сети со множеством связей. Затем выявленные в семантической сети отношения упорядочиваются на основании тезауруса с выделенными классами отношений.

Далее на концептуальной модели к ней добавляются роли, которые делают онтологию семантически богатой структурой. Полученная концептуальная модель онтологии позволила описать разрабатываемую онтологию по степени абстракции в соответствии с уровнями иерархии. Первым уровнем абстракции является класс Thing. Этот класс является начальным для любой онтологии и далее не рассматривается. Далее следующий уровень иерархии: классы «объект», «вода», «оборудование», «вещество». Они представляют верхний уровень модели ОСВ, характеризующийся общими знаниями о процессе. Затем в каждом из этих классов находятся подклассы, представляющие средний уровень онтологии — знания о специфике конкретного очистного сооружения. В работе речь идет о биологических очистных сооружениях, что описывается на модели такими классами, как активный ил, аэротенк и т. д. Нижним уровнем иерархии в онтологии являются экземпляры классов.

Таким образом, общие знания выявлены и сформированы на основании разработанной концептуальной модели онтологии. Специальные знания о конкретных проблемных ситуациях представлены в форме прецедентов, основной отличительной особенностью которых является их объектная структура и интеграция с обобщенными (аб-

страгированными) знаниями предметной области. Метаонтология является верхним уровнем в иерархии разрабатываемых онтологий. Разработанные онтологии предметной области и прецедентов основаны на парадигматических и синтагматических отношениях, что позволяет осуществлять логический вывод на основе предложенных правил принятия решений и аксиом [8]. Они формируются с экспертами на основании разработанной концептуальной модели онтологии, а также проведенного кластерного анализа данных лабораторных анализов конкретного очистного сооружения. Распознавание ПС состоит в том, чтобы на основании измерения и анализа вектора признаков  $A_i$  (данные анализа на ОС в определенный момент времени) отнести его к определенному классу возможных ПС (в случае, если производится оценка состояния поступающей воды)  $category_j \in Category$  и уже наступившей ПС (в случае, если анализируются характеристики активного ила).

$$A^n = \{A_i, i = 1..n\}$$

$$A_i = (a_{i1}, ..a_{ij}, ..a_{im})$$

$$\psi : A_i \rightarrow Category_k$$

$$\forall A_i \in A^n \exists category_k \in Category : \Psi(A_i) = category_k$$

На основании выделенных групп (классов ситуаций на конкретном очистном сооружении) с экспертом были сформулированы правила распознавания класса проблемной ситуации и записаны на языке формализации онтологических правил Semantic Web Rule Language (SWRL). Правила представляют собой дизъюнкты Хорна и в общем виде представлены выражением:

$$Ax: C_1(?x) \wedge C_2(?y) \wedge r_1. (?x,?y) \wedge C_3(?x,?z) \rightarrow C_2(?z,?y),$$

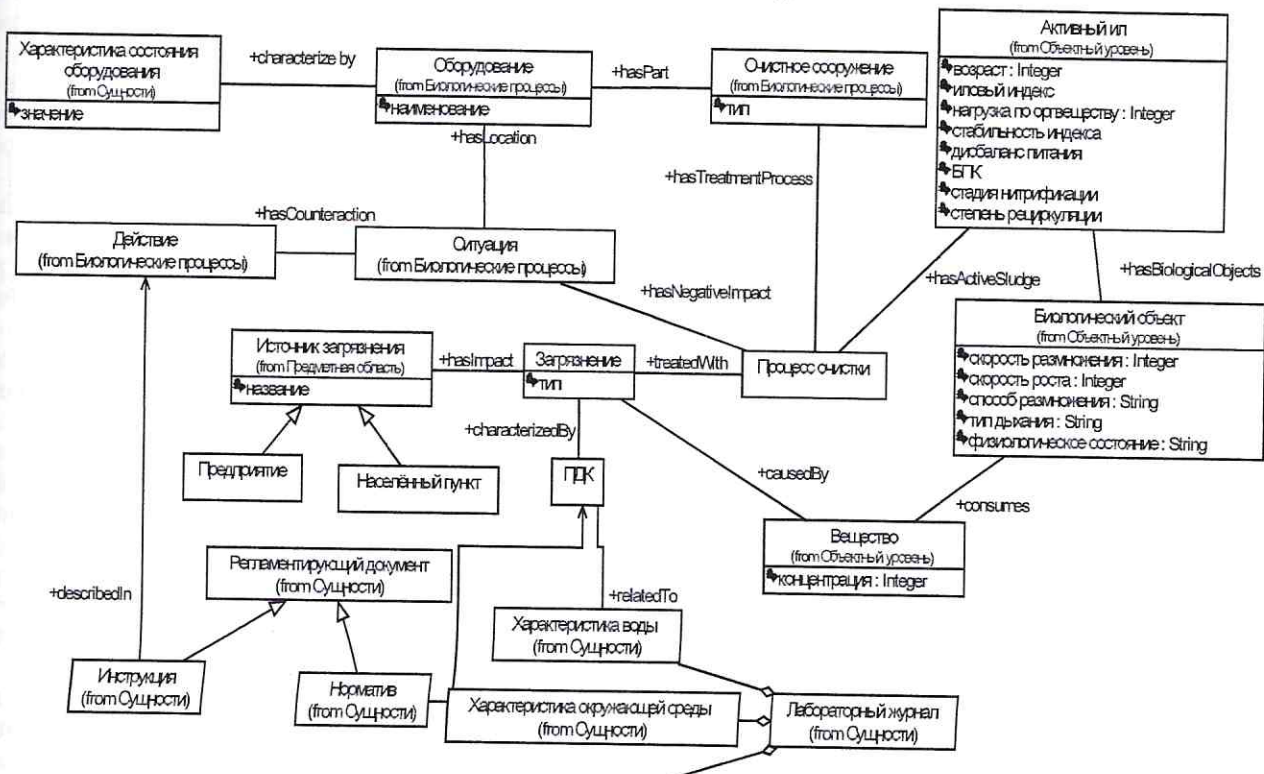


Рис. 4. Концептуальная модель онтологии процесса управления ОС



где  $(C_1, C_2, C_3) \in C$ ,  $r_i \in R$ ,  $x, y$  – экземпляры или переменные,  $z$  – переменные или значения.

Например, правило  $Ax_n$  распознавания ПС «Вспухание активного ила» на языке SWRL записано в виде:

$Ax_n$ : Проблем. ситуация в активном иле(?s)  $\wedge$  имеет\_Описание(?s, ?w)  $\wedge$  Входящая\_вода(?w)  $\wedge$  имеет\_Кислотность(?w, ?a)  $\wedge$  swrlb:greaterThan(?a, 5)  $\wedge$  swrlb:lessThan(?a, 8)  $\wedge$  имеет\_Температуру(?w, ?t)  $\wedge$  swrlb:greaterThan(?t, 9)  $\wedge$  содержит\_Загрязнитель(?w, ?p)  $\wedge$  Тяжелый\_металл(?p)  $\wedge$  имеет\_Концентрацию(?p, ?c)  $\wedge$  swrlb:lessThan(?c, 1)  $\wedge$  содержит\_Загрязнитель(?w, ?p2)  $\wedge$  Взвешенное\_вещество(?p2)  $\wedge$  имеет\_Концентрацию(?p2, ?p2c)  $\wedge$  swrlb:greaterThan(?p2c, 12)  $\wedge$  имеет\_Описание(?s, ?iw)  $\wedge$

тОписание(?s, ?iw)  $\wedge$  Очищаемая\_вода(?pw)  $\wedge$  содержит\_Вещество(?pw, ?o)  $\wedge$  Кислород(?o)  $\wedge$  имеет\_Концентрацию(?o, ?oc)  $\wedge$  swrlb:lessThan(?oc, 2)  $\rightarrow$  Вспухание\_ила(?s).

С помощью правил можно предположить о возможном возникновении проблемной ситуации на ОС, анализируя поступающую воду или обнаружить проблемную ситуацию внутри системы.

В соответствии с разработанными правилами была построена онтология прецедентов, содержащая прецеденты проблемных ситуаций.

Онтология прецедентов представляет собой нижний уровень иерархии онтологий: после мета-онтологии и онтологии предметной области.

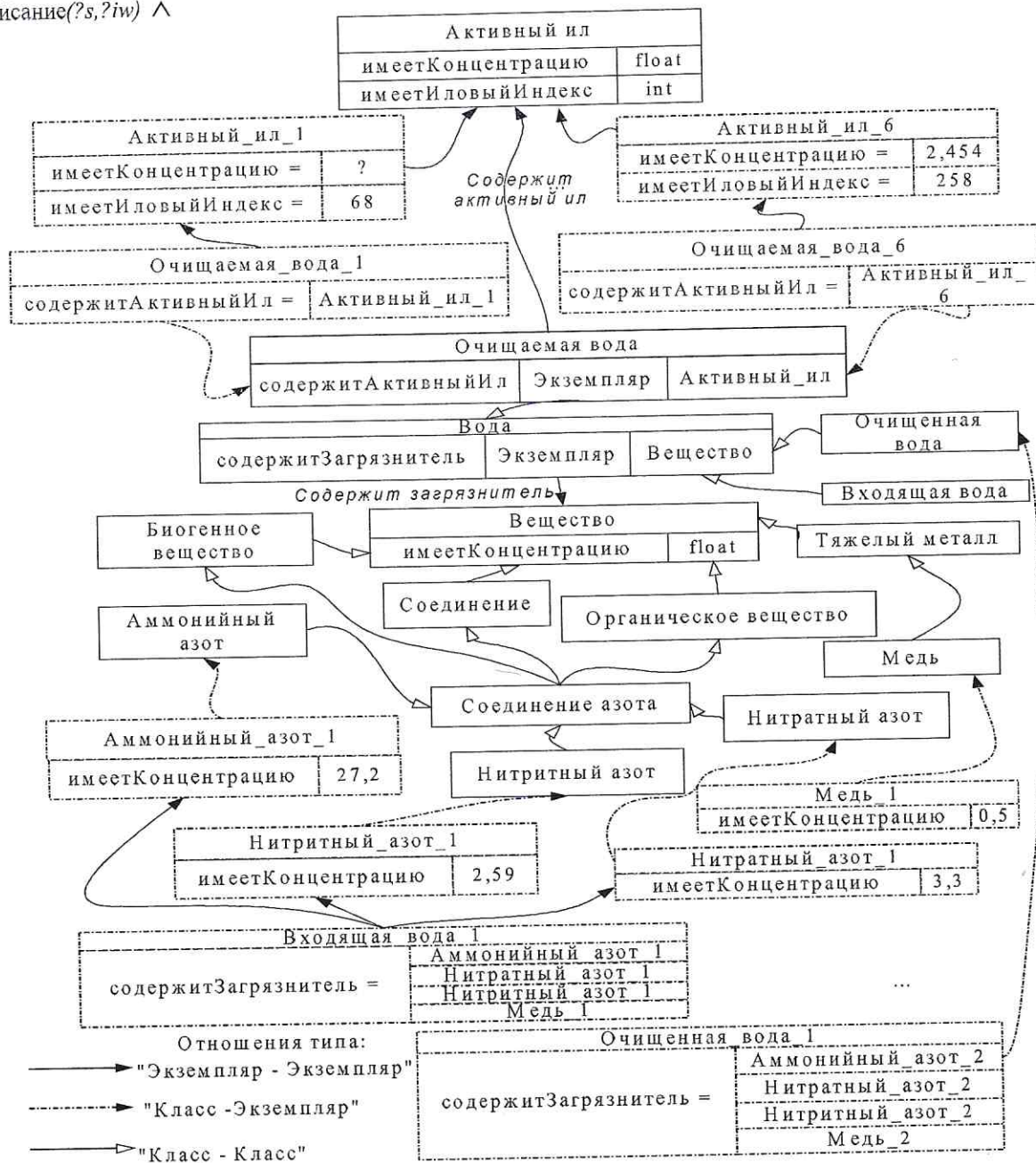


Рис. 5. Фрагмент онтологии прецедентов ОС



Структура прецедентов является объектно-ориентированной. Каждый прецедент ассоциирован с ПС.

Формализации интеллектуальной СППР для процесса управления ОСВ происходит на основе результатов анализа и моделирования ПрО. Производится формирование структуры предметной онтологии и онтологии прецедентов, разрабатываются правила и аксиомы. Визуализация онтологии производится средствами *Protégé 3.1* на основе результатов анализа и моделирования ПрО (рис. 5).

Использование разработанной онтологической базы знаний, содержащей онтологию предметной области, онтологию прецедентов и правила распознавания ПС, позволяет увеличить полноту информационного обеспечения персонала очистных сооружений; делает возможным доступ к информации распределенных пользователей с помощью соблюдения стандартов *Semantic Web*; позволяет принимать персоналом очистных сооружений более качественные решения в проблемных ситуациях.

### 3.2. КОНЦЕПЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ ПРОЦЕССОМ

Одной из наиболее актуальных задач в области образования в современных условиях является повышение его качества. Эта проблема напрямую связана с содержанием образования и технологией реализации образовательных программ. Знания – главная ценность в деятельности университета. Университетские знания представляют собой методические разработки преподавателей, результаты участия научных сотрудников университета в научно-исследовательских работах. Эффективное использование накопленных за многие годы знаний несомненно повышает качество образовательных процессов.

Существующие подходы к решению проблемы повышения качества образования состоят в повышении качества преподавания, совершенствовании управления образовательными процессами. Решение проблемы повышения качества образования, во-первых, подразумевает совершенствование учебно-методического обеспечения и составляющих образовательного процесса. Необходимо использование современных интеллектуальных технологий, так как большинство критериев качественные, а не количественные. Во-вторых, совершенствование управления качеством образования возможно путем внедрения системы виртуального образования: разработка электронных учебных курсов, электронных тестов, тренировочных заданий.

На сегодня большинство методического материала университета представляет собой архив методических литературных изданий. Эти знания не используются в полном объеме. Необходимо акти-

визировать имеющиеся знания с целью порождения новых знаний. Для решения поставленной задачи предлагается разработка и внедрение интеллектуальной системы поддержки принятия решений на основе базы знаний в систему управления образовательным процессом вуза на основе методологии объектно-когнитивного анализа, интегрирующего методы и результаты объектно-ориентированного анализа, онтологического анализа и семантической сети представления знаний.

Структурирование знаний о качестве образовательного процесса предлагается производить на основе онтологического анализа, в основе которого лежит описание предметной области в терминах сущностей, отношений между ними, и действий над сущностями. Таким образом, в процессе структуризации онтология образовательного процесса представляется в виде иерархической системы

Онтология задает единое информационное пространство, в котором интегрируются различные модели представления знания об образовательном процессе, знания о конкретной области подготовки специалистов, представленное в форме онтологии  $Onto^{edu}$  и  $Onto_i^{app}$ , правила управления образовательным процессом и прецеденты конкретных проблемных ситуаций, требующих принятия решений. Онтология образовательного процесса включает онтологию верхнего уровня (метаонтологию)  $Onto^{meta}$ , онтологию высшего образования  $Onto^{edu}$  и предметные онтологии подготовки специалистов по различным специальностям  $Onto_i^{app}$ :

$$Onto = \langle Onto^{meta}, Onto^{edu}, \{Onto_i^{app}\}, Inf^F \rangle,$$

где  $Inf^F$  – модель машины вывода, ассоциированной с онтологической системой  $Onto$ . Сущностями метаонтологии  $Onto^{meta}$  являются такие понятия, как «объект», «атрибут», «значение», «отношение» и т.п. Онтология  $Onto^{edu}$  оперирует понятиями, характеризующими процесс подготовки специалистов высшего образования (например, «университет», «преподаватель», «обучаемый», «учебный курс» и др.), и организуется по образцу метаонтологии  $Onto^{meta}$ . Предметная онтология  $Onto_i^{app}$  содержит понятия, характеризующие семантику особенностей подготовки специалистов по конкретным специальностям («образовательный стандарт», «дисциплина специализации», «информационная технология» и др.), структурированные в соответствии с иерархией, установленной для конкретной специальности. Структура рассматриваемых предметных областей предполагает наличие в онтологии отношений наследования, статической агрегации, а также нескольких типов ассоциативных парадигматических отношений: отношений агрегации, причинно-следственных отношений, отношений сходства, отношений семантического подобия. Наполненная предметная онтология  $Onto_i^{app}$  может рассматриваться как компонент базы знаний при работе с конкретной предметной областью и являться, в свою очередь, шаблоном для построения динамического компонента базы знаний, изменяю-



щегося при переходе от исследования одной конкретной задачи к другой.

Современная обучающая среда должна быть адаптивной, что обуславливает соответствующие требования к формированию, наполнению, использованию, адаптации и обучению базы знаний ИСППР. Для ИСППР университета потребовалось несколько предметных онтологий, в соответствии с перечнем специальностей подготовки специалистов.

Онтология, в частности, необходима для того, чтобы пользователь мог работать с базами данных методических материалов, относящихся к широкому кругу специальностей, разрабатывать методическое обеспечение для новых специальностей на основе повторного использования методик обучения фрагментам знаний, освоенных преподавателями университета.

Онтологический подход к разработке базы знаний ИСППР нашел свое применение в разработке первой версии онтологии учебного процесса по специальности «Управление качеством». В процессе исследований проведен анализ предметной области "Управление качеством" на основе стандарта моделирования UML и разработаны диаграммы классов, моделирующие соответствующие фрагменты знаний.

Для разработки онтологии использовались

средства построения онтологии Stanford's Protégé 3.1.1 с OWL и SWRL-дополнениями для кодирования онтологии и базы знаний (рис. 6).

Формализация правил осуществлена на основе дескриптивной логики, а прецеденты являются экземплярами классов онтологии и представляют собой совокупность объектов. Вывод на прецедентах производится на принципах аналогии и соответствует CBR-принципам.

Далее приведен пример использования образовательной базы знаний для информационной поддержки образовательного процесса. В таблице показаны способы использования онтологии образовательного процесса для подготовки специалиста по конкретной специальности в виде тематической декомпозиции электронного учебного курса и разработки тестов. *Onto<sup>edu</sup>* – разработка электронного учебного курса и учебно-тренировочных заданий к нему. *Onto<sup>app</sup>* – тематическая декомпозиция, содержания учебных фрагментов, выделение терминов учебных фрагментов. *Onto<sup>case</sup>* – поиск решений в проблемной ситуации (разработка новых учебных курсов) на основе прецедентов методических разработок университета.

База знаний, разработанная на основе объектно-когнитивного подхода, может использоваться для создания показателей качества, для разработки учебных курсов.

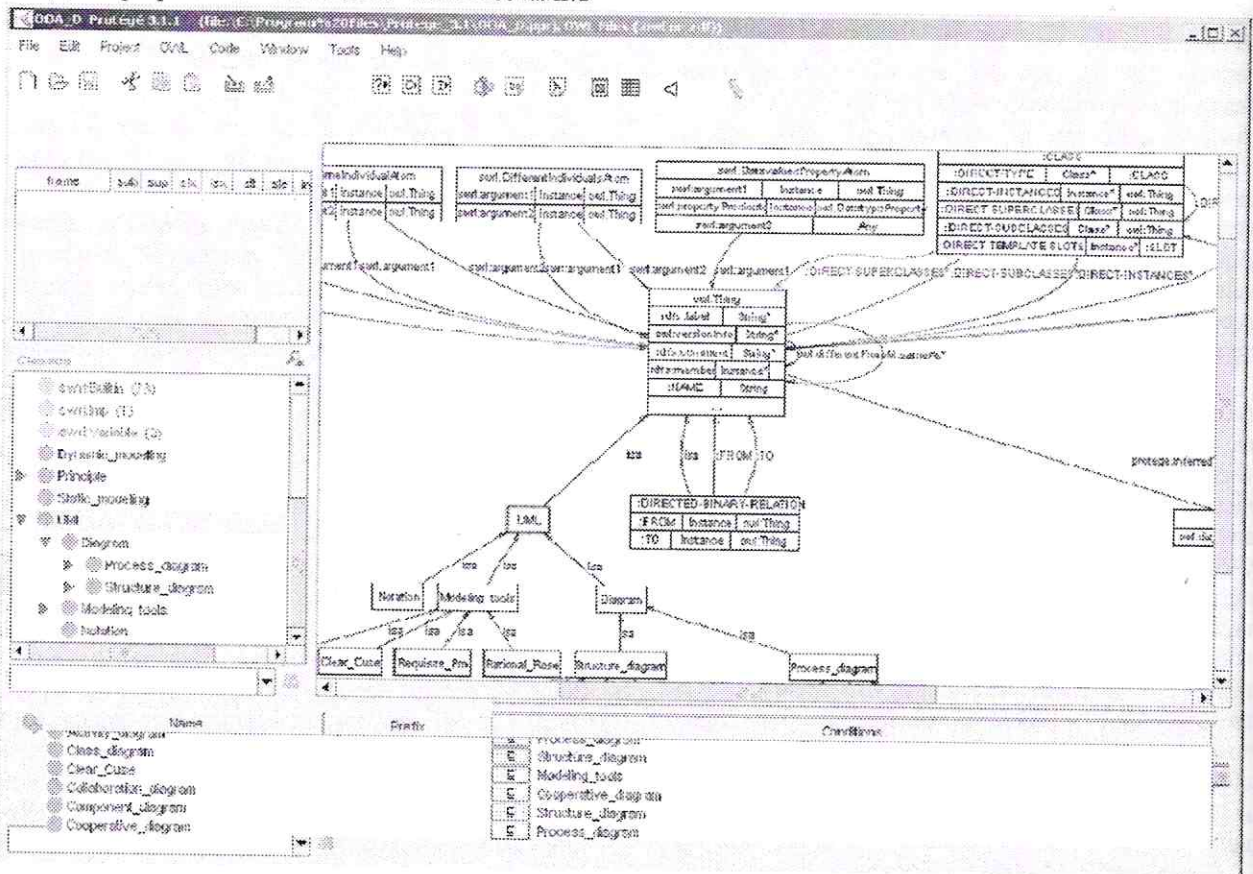


Рис. 6. Разработка онтологии с использованием средства Stanford's Protégé 3.1



Использование в учебном процессе электронных учебных курсов, разработанных на основе базы знаний, способствует повышению качества обучения за счет развития дидактики и методики создания новых форм обучения; снижению затрат на организацию и проведение образовательного процесса, перераспределению нагрузки преподавателей с рутинной на творческую деятельность; индивидуальную работу с обучаемыми; повышению оперативности обеспечения учебного процесса учебно-методическими средствами при изменении структуры и содержания обучения.

### ВЫВОДЫ

1. Повышение качества управления сложными системами достигнуто повышением эффективности принятия решений в проблемных ситуациях.
2. Предложен онтологический подход к разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений.
3. Специфика онтологии предметных областей показана на примерах использования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в области образования и экологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадамшин, Р. А. Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний / Р. А. Бадамшин, Б. Г. Ильясов, Л. Р. Черняховская. М. : Машиностроение, 2003. 240 с.
2. Буч, Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование: с примерами приложений на С++ / Г. Буч. СПб. : Бинوم ; Невский диалект, 1998. 560 с.
3. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. СПб. : Питер, 2000. 384 с.
4. Вагин В. Н. Делукция и обобщение в системах принятия решений / В. Н. Вагин. М. : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит. 1988. 384 с.
5. Куликов, Г. Г. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования / Г. Г. Куликов, А. Н. Набатов, А. В. Речкалов, Л. Р. Черняховская и др.; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 1999. 223 с.
6. Cherniakhovskaya, L. R. Decision support making in business process based on object-cognitive analysis / L. R. Cherniakhovskaya, K. R. Nugaeva, R. A. Shkundina, P. V. Muksimov // Proc. of the 11<sup>th</sup> Int. Conf. on Concurrent Enterprising. Munich, Germany, 2005, P. 41–44.
7. Шкундина Р. А. Современное состояние и перспективы автоматизированного управления очистными сооружениями предприятий нефтеперерабатывающей промышленности [Электронный ресурс] / Р. А. Шкундина // Нефтегазовое дело. 2006. 9 с. (<http://www.ogbus.ru>).
8. Shkundina R. A similarity measure for task contexts / R. Shkundina, S. Schwarz // Proc. of the Workshop Similarities - Processes - Workflows in conjunction with the 6th Int. Conf. on Case-Based Reasoning (ICCBR 2005), P. 261–270.