

УДК 004:005.336.4

Н. Н. МУХАЧЕВА, Д. В. ПОПОВ

## ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ОРГАНИЗАЦИИ

Предлагается концепция по управлению интеллектуальным капиталом в информационно-емких организациях, отличающаяся тем, что она основана на построении онтологической базы знаний информационно-интеллектуальных ресурсов для решения задач поддержки принятия решений и управления взаимодействием при выполнении проектов оказания нематериальных услуг. Предлагается метод структурирования информационно-интеллектуальных ресурсов организации в онтологической базе знаний, отличающийся тем, что он основан на построении совокупности взаимосвязанных когнитивных моделей специального вида (конфайнмент-моделей), сочетании методов системного анализа и синтеза, вывода по аналогии и выявления системных триад, а также использовании специальной процедуры мозгового штурма для обеспечения эффективного взаимодействия аналитиков и экспертов. *Управление интеллектуальным капиталом; информационно-интеллектуальные ресурсы; онтологические базы знаний; конфайнмент-моделирование; поддержка принятия решений; поддержка выполнения проектов*

В процессе социальной эволюции происходит постепенное повышение производительности труда, выражающееся в замещении материальных ресурсов информационно-интеллектуальными, которые составляют основу интеллектуального капитала (ИК). Организация может получать дополнительный доход за счет конкурентных преимуществ, приобретаемых от использования интеллектуальных активов (ИА), формируемых путем структурирования информационно-интеллектуальных ресурсов (ИИР). Это особенно важно для информационно-емких организаций (оказывающих информационные, образовательные услуги, выполняющих научно-исследовательские работы), в деятельности которых наиболее важной составляющей является управление информацией и знаниями.

В связи с этим в настоящее время встает проблема эффективности внутриорганизационного управления ИК и необходимости разработки управленческих методов и механизмов для формирования, аккумулирования и использования ИК.

В ряду исследователей этой проблематики можно выделить П. Саливана (управление ИА, жизненный цикл ИА), Ю. А. Еленеву (оценка эффективности использования интеллектуаль-

ной собственности), Э. П. Скорнякова (методы оценки коммерческой стоимости изобретений), С. М. Климова (формирование и стратегическое управление интеллектуальными ресурсами), В. Г. Зинова (основы управления интеллектуальной собственностью в научно-технических организациях).

Таким образом, исследования, направленные на развитие теории и методологии обеспечения эффективного управления ИК информационно-емких организаций, считаются актуальными и имеют важное хозяйственное значение, так как позволяют решить задачу эффективного функционирования организации как в краткосрочных, так и в долгосрочных перспективах.

### 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ КАПИТАЛОМ

Основные сложности при управлении ИК в организации связаны с тем, что на настоящий момент отсутствует общепринятая модель его структуры [1]. Проведенный анализ позволил выделить основные потоки преобразования видов ИК: от ресурсов к активам, капиталам и продуктам.

При этом под ИИР понимается совокупность научно-производственных, финансовых, маркетинговых, организационно-управленческих, кадровых, информационно-технологических, информационно-управленческих, юридических и других идей, методов, инструментов, технологий и различных форм существования информации, полученных в результате интел-

---

Контактная информация: (347) 273-79-67

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 08-07-00495-а и № 09-07-00408-а, а также при совместной финансовой поддержке АН РБ и РГНФ в рамках проекта № 09-02-84501 а/у

лектуального труда сотрудников предприятия и обуславливающих возникновение ее конкурентных преимуществ, а под ИА – интеллектуальная собственность, которая принадлежит организации и защищается законом: торговые и сервисные марки, патенты, полезные модели, промышленные образцы, учебные объекты, базы данных, программные продукты и пр.

В целом управление ИК организации основано на поиске способов эффективного создания и использования знаний и информации для достижения поставленных целей, связанных с повышением эффективности интеллектуального труда работников и использованием продуктов этого труда для устойчивого развития организации.

Согласно [2], основными задачами, возникающими в процессе управления ИК, являются следующие:

- 1) создание, оценка и введение ИА в структуру капитала организации;
- 2) разработка и развитие внутрифирменных механизмов их использования;
- 3) осуществление эффективной коммерциализации интеллектуальных продуктов;
- 4) определение экономически целесообразных функций организации в области расширенного воспроизводства их ИА.

К сожалению, существующие в настоящее время концепции по управлению ИК, рассматривая отдельные сферы управленческой деятельности, не затрагивают вопросов структурирования знаний, представленных в ИИР в экспертной либо объективированной форме, что необходимо для их эффективного преобразования в ИА организации, на решение которых и направлены предложенные в данной статье модели и методы.

## **2. ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЗНАНИЙ**

Процесс преобразования ИИР в ИА состоит из ряда этапов, основным из которых, например, в случае изобретения, является оформление заявки на регистрацию объекта патентного права в соответствии с установленными правилами. В случае оформления заявки на изобретение необходимо представить: заявление о выдаче патента, описание изобретения, формулу изобретения, чертежи и иные материалы, реферат.

Традиционно в организации изобретатель совместно с работником службы учета интеллектуальной собственности готовит весь ком-

плект документов, который в дальнейшем сдается в архив, а информация о созданном при этом активе ИС содержится в службе бухгалтерского учета в связи с необходимостью его учета как нематериального актива, находящегося на балансе организации.

Вместо такой неэффективной формы учета объектов интеллектуальной собственности предлагается другая, которая предполагает создание в организации корпоративной базы знаний, включающей, в том числе и структурированные данные об объектах ИС. Уже традиционно в инженерии знаний для такой структуризации применяется онтологический подход.

Его применение позволяет справиться с такой сложной проблемой, как согласование концептуальных описаний информационно-интеллектуальных ресурсов, составленных различными специалистами, когда имеются различные, несогласуемые друг с другом концептуальные описания, содержащие двусмысленности и не обеспечивающие семантическую уверенность результатов работы.

Понятие «Онтология» используется специалистами в области искусственного интеллекта с 1991 года, когда Т. Грубер дал ему определение «эксплицитная спецификация концептуализации» [3, 4], хотя можно утверждать, что неявно оно уже использовалось выдающимися учеными прошлого, такими как Г. Фреге, Р. Декарт, Ч. Ломброзо, К. Дж. Хант, Ч. Чэн, которые создали базовый инструментарий для структурирования предметных областей.

При управлении знаниями предметных областей (ПрО) онтологические модели применяются на этапе структурирования и рассматриваются как базы знаний специального вида.

Проведенный анализ позволил выявить основные отличительные особенности онтологии и объединить их в следующие три группы: объективность, универсальность и интегративность. Рассмотрим некоторые из них.

Онтологическая реальность существует объективно, независимо от нашего к ней отношения, и характеризуется всеобъемлемостью, единостью, связывая все со всеми, а также наличием правил взаимодействия объектов бытия, носящих как парадигматический, так и синтагматический характер отношений. Онтология в знаковом (семиотическом) виде существовать не может. Поэтому в сознании людей мы имеем дело уже с отражением (отображением, образом) онтологической реальности (ОР) на семиотическую реальность (СР) [5]. Онтологическая модель претендует на отражение онтологической реальности, а не просто

на совокупность сущностей и отношений, удобных для использования специалистом. Поскольку любая модель – это всегда упрощение реальности, поэтому ей свойственны фрагментарность, некоторая однобокость, и онтологическая модель (ОМ) не лишена этого. Однако объективность как независимость от субъективных мнений отдельных экспертов и аналитиков при этом может обеспечиваться через достижение консенсуса в сообществе специалистов соответствующей области знаний. Хотя нельзя при этом забывать о неустранимом расхождении между ОР и СР [6].

Одна из наиболее важных функций онтологии – функция интеграции разнородных данных и знаний специалистов различных областей знаний, когда используется опыт решения одних задач для других. В этом и кроется основное отличие ОМ от других моделей, написанных с применением известных средств и графических языков, что они всегда не просто отдельные модели, а пусть и фрагменты, но единой онтологии [7].

Синтаксическая основа ОМ в настоящее время – язык гипертекстовой разметки XML, поверх которого надстроен язык веб-онтологий OWL DL, поддерживающий дескриптивную логику, который хотя и не является наиболее выразительным, но в настоящее время признан в качестве промышленного стандарта де-факто.

Применение онтологической базы знаний, основанной на семантических сетях и дескриптивной логике, в отличие от таких способов реализации баз знаний, как продукционные и фреймовые, позволяет учитывать как парадигматические отношения понятий (причинно-следственные, отношения обобщения и агрегации), независимые от контекста решения задачи, так и правила формирования переменных синтагматических отношений понятий (заданных на дескриптивной логике), возникающих в некотором контексте решения задачи. Одной из наиболее важных особенностей дескриптивных логик в отличие от исчисления предикатов первого порядка является сделанный в них акцент на осуществимость логического вывода [8]. В стандартных системах логики первого порядка предсказание времени выработки решения часто оказывается невозможным.

Выбор подходящей онтологии верхнего уровня (ОВУ) является важной предпосылкой для эффективного структурирования знаний, представленных в информационно-интеллектуальных ресурсах организации. Из рассмотренных ОВУ наиболее подходящими для описания основных понятий, связанных с инфор-

мационно-интеллектуальными ресурсами, являются: МПК в научно-исследовательской работе и классификация предметных областей по М. С. Павлову при оказании образовательных услуг, и для их использования в качестве онтологий верхнего уровня предлагается совокупность моделей специального вида, метод построения которой в виде онтологической базы знаний приводится ниже.

Онтологию предметной области, которая состоит из большого количества сущностей и связей, можно конструировать различными способами. Разработчик онтологии выбирает схему исходя из задачи, т. е. исходя из того, каким образом онтология будет использоваться в дальнейшем. Однако схемы построения недостаточно для разработки эффективной онтологии. Существует ряд проблем, с которыми сталкивается каждый разработчик при построении онтологий, таких как определение концептов, полнота построения и т. д.

### 3. МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Любая человеческая интеллектуальная деятельность обязана быть по своей сути системной деятельностью, предусматривающей использование совокупности взаимосвязанных системных процедур на пути от постановки задачи и целей к нахождению и использованию решений. Известны следующие подходы к структурированию знаний: структурный (системный) подход; объектно-ориентированный подход; объектно-структурный подход; системно-когнитивный подход. Недостатком известных реализаций этих подходов с точки зрения построения единого информационного пространства является то, что каждый исследователь строит модели по своей схеме, что делает затруднительным интеграцию различных моделей или их сравнение.

В рамках системно-когнитивного подхода предлагается метод, основанный на построении когнитивных моделей специального вида – конфайнмент-моделей, имеющих фиксированную структуру и налагающих специфическую семантическую нагрузку на каждый свой элемент [9].

Построение онтологий с помощью конфайнмент-моделирования – это процедура системно-когнитивного анализа. Она позволяет более рационально и системно строить онтологии, опираясь на подход стратификации целей и задач построения. Рассмотрим ее подробнее.

### 3.1. Применение системно-когнитивного подхода

Значительные трудности при исследовании различных систем обычно связаны не только с изучением данных предметной области и их взаимодействия между собой, но и с выделением главных элементов системы, влияющих на второстепенные. Как правило, нахождение таких ключевых элементов и их связей с исследователем означает построение полной когнитивной модели системы.

Когнитивное моделирование является удобным инструментом изображения систем. Методология когнитивного моделирования, предназначенная для анализа и принятия решений в плохо определенных ситуациях, была предложена Р. Аксельродом [10]. Она основана на моделировании субъективных представлений экспертов о ситуации и включает: методологию структуризации ситуации; модель представления знаний эксперта; методы анализа ситуаций.

Задачей когнитивного моделирования является выявление и описание абстрактных или существующих коррелируемых явлений, событий, происходящих на объекте контроля и управления. Когнитивный инструментарий позволяет снижать сложность исследования, формализации, структурирования и моделирования системы.

Модель предметной области в когнитивной модели представляется в виде знакового ориентированного графа с обратными связями. В вершинах графа располагаются различные события либо ключевые элементы ситуации. Дуги, соединяющие вершины, отображают причинно-следственные связи между ними. Существенно, что параметры событий и степени их взаимного влияния могут выражаться как точными количественными параметрами, так и нечеткими качественными соотношениями. Однако существующая методология структуризации ситуации и модель представления знаний эксперта не позволяют анализировать сложные ситуации.

Метод определения главных компонентов системы и изучения их влияния друг на друга был предложен Т. В. Гагиным. Данный метод, основанный на конфайнмент-моделировании, позволяет значительно снизить временные затраты на моделирование и упростить исследование систем в различных предметных областях. Его назначение – облегчить выстраивание системных моделей. Конфайнмент-моделирование помогает отсеять неважные (с позиции эксперта) факторы и сосредоточиться на тех,

что действительно влияют на результат. Системное моделирование дает возможность увидеть неочевидные влияющие факторы, ключевые точки и важные взаимосвязи еще до того, как это станет ясно на практике [11].

Конфайнмент-моделирование – средство моделирования, которое позволяет описывать любые системы с помощью их разбиения на страты – элементы конфайнмент-моделей (КМ), несущие в себе семантику логических уровней. Исследования показали, что при использовании специальных типов КМ возможно усовершенствовать процесс построения онтологий.

Предлагается следующая классификация КМ по их назначению.

1. Концептуальная конфайнмент-модель (ККМ) основана на «классической» ограниченной 9-элементной конфайнмент-модели, предложенной Т. В. Гагиным (рис. 1, а). Предназначена для выделения основных факторов, необходимых для достижения сформулированной цели. Элементы модели связаны концептуальными отношениями «ВЫЗЫВАЕТ» / «ЗАВИСИТ ОТ». В качестве ее разновидности может рассматриваться триадная КМ (ТКМ), предназначенная для выявления системных триад, расположенных по кругам или секторам ККМ.

2. Иерархические КМ (ИКМ): гиперонимическая (ГКМ), меронимическая (МКМ), атрибутивная (АКМ) и др. ГКМ предназначена для классификации видов понятий (рис. 1, б). Элементы модели № 2–9 связаны иерархическим родовидовым отношением «ЯВЛЯЕТСЯ» с элементом № 1. МКМ предназначена для осуществления системного синтеза – идентификации надсистемы, частью которой является интересующий объект (рис. 1, в). Элементы модели № 1–8 связаны отношением «ЯВЛЯЕТСЯ ЧАСТЬЮ» с элементом № 9. АКМ предназначена для классификации свойств (атрибутов) понятий (рис. 1, г). Элемент № 4 связан отношением «ИМЕЕТ СВОЙСТВО» с элементами модели № 1–3 и 5–9.

3. Процессная КМ (ПКМ). Предназначена для выделения процессов жизненного цикла проекта разработки продукта/оказания услуги и может рассматриваться как обобщение спиральной модели жизненного цикла. Элементы модели связаны отношениями «ЯВЛЯЕТСЯ ВХОДОМ / ВЫХОДОМ ДЛЯ» процессов, связанных к дугам.

В общем, можно отметить, что область применения ККМ – поддержка принятия решений: формализация действий, инструментов, правил, ресурсов, необходимых для достиже-

ния результата, а ИКМ – классификация: выделение групп разнородных элементов, играющих различные роли в системах. Для представления группы однородных элементов применение КМ нерационально.

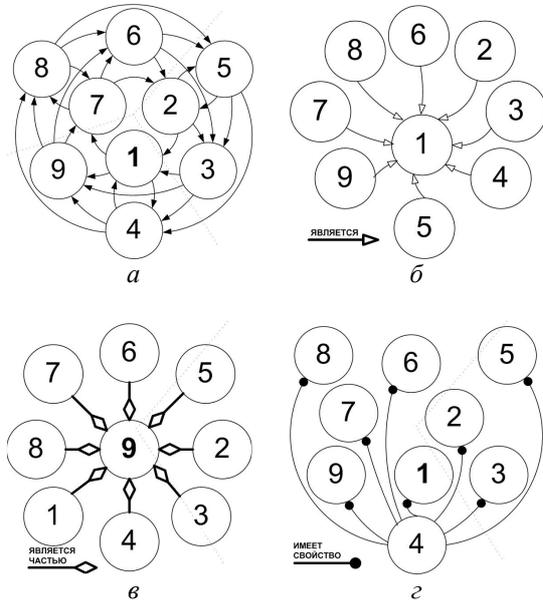


Рис. 1. Виды конфайнмент-моделей: а – ККМ; б – ГКМ; в – МКМ; з – АКМ

### 3.2. Модели интерпретации конфайнмент-моделей

Функционирование любой системы подразумевает выполнение необходимого числа системных процессов (включая процессы управления, основные и поддерживающие бизнес-про-

цессы), направленных на достижение цели функционирования системы.

Рассмотрим интерпретацию ККМ с помощью нотации функционального моделирования IDEF0 в рамках методологии структурного анализа и проектирования SADT. Обычно при функциональном моделировании рассматривается лишь синтаксический уровень: на входе имеется цель процесса, на выходе – результат процесса, который обеспечивается на основании спецификаций и критериев с применением алгоритмов и методов, как это показано на контекстной диаграмме. Однако для более детального, выразительного описания процесса необходимо учитывать также семантические и прагматические аспекты функционирования сложных систем. Поэтому на семантическом уровне дополнительно рассматриваются на входе – интерпретация цели процесса, на выходе – интерпретация результата процесса, при управлении учитываются правила функционирования системы, при использовании инструментов – основные принципы функционирования системы. На прагматическом уровне учитываются состояние системы и измененное состояние системы, ресурсные ограничения, интеллектуальные ресурсы и инструментальные средства [12].

Предлагается следующая обобщенная контекстная диаграмма, на которой представлены основные входы, выходы, механизмы и управляющие воздействия, которые должны быть формализованы для каждого системного процесса (рис. 2).

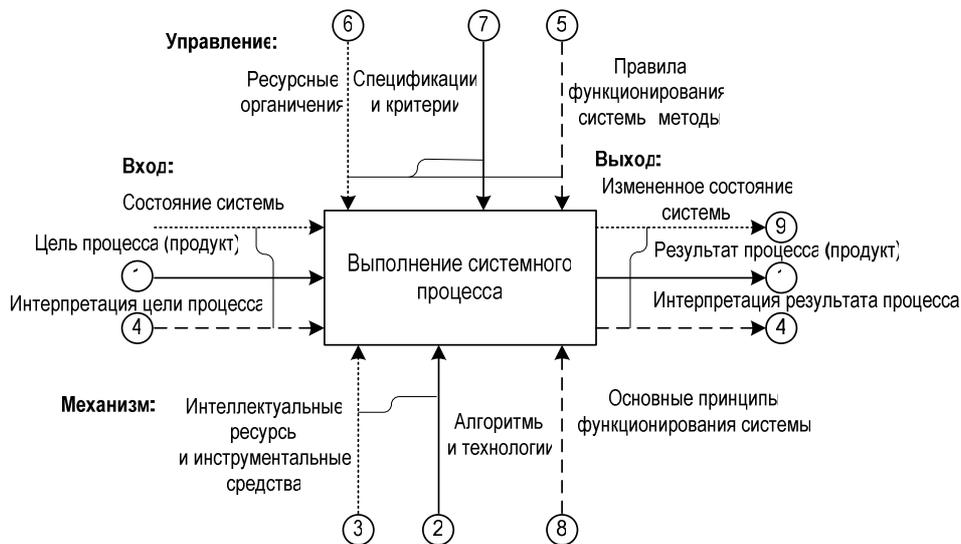


Рис. 2. Обобщенная контекстная диаграмма выполнения системного процесса

В рамках подхода произведена процедура системного синтеза, в результате чего была идентифицирована обобщенная система, в рамках которой функционирует конкретный системный процесс. Достижение определенного результата процесса (A1) осуществляется на основе сформулированной цели, с применением (A2) соответствующих алгоритмов и методов, учитывающих сформулированные (A7) спецификации и критерии (синтаксический уровень). Базируясь на выявленных (A8) принципах функционирования системы и опираясь на заданные (A5) правила, интерпретируется (A4) результат поддержки принятия решений (семантический уровень). Процесс мониторинга (A9) состояния системы основывается на определении (A6) ресурсных ограничений функционирования системы и нахождении (A3) интеллектуальных ресурсов и материальных средств (прагматический уровень).

Для снижения временных затрат на моделирование и упрощение исследования приведенной надсистемы в различных предметных областях, предлагается перейти к другому виду ее представления – ККМ (рис. 1, а), являющейся замкнутой самовоспроизводящей системой, отражающей причинно-следственные связи между главными элементами предметной области (понятиями, состояниями, подсистемами).

Элементом модели соответствуют элементы предметной области. В результате построения модели получается схема, которая предоставляет не полную, а только наиболее необходимую структурированную информацию о предметной области для принятия решений. Для более точной спецификации и интерпретации элементов такой модели предлагается использовать следующие абстракции: семиотические уровни, логические уровни, а также онтологические аспекты элементов модели.

В семиотическом плане элементы группируются в соответствии с принадлежностью к «кругам» (рис. 3): внутреннему (синтаксический уровень), парному ему внешнему (семантический уровень), а также дополняющему их среднему кругу (прагматический уровень).

Проведенный анализ позволил выявить соответствие между элементами конфайнмент-модели и уровнями обработки информации, принятыми в неврологии и психологии (рис. 4), которые были разработаны Робертом Дилтсом как обобщение идей, выдвинутых крупнейшими философами Грегори Бейтсоном и еще ранее Берtrandом Расселом.

В онтологическом плане элементы группируются в соответствии с принадлежностью к «секторам»: прескриптивному, дескриптивному и реляционному.

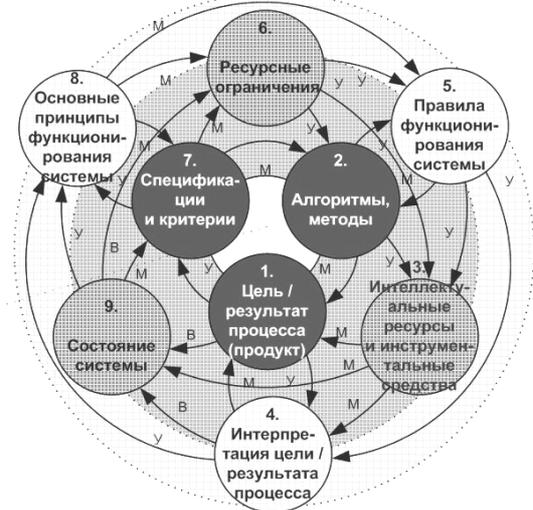


Рис. 3. Семиотические уровни КМ

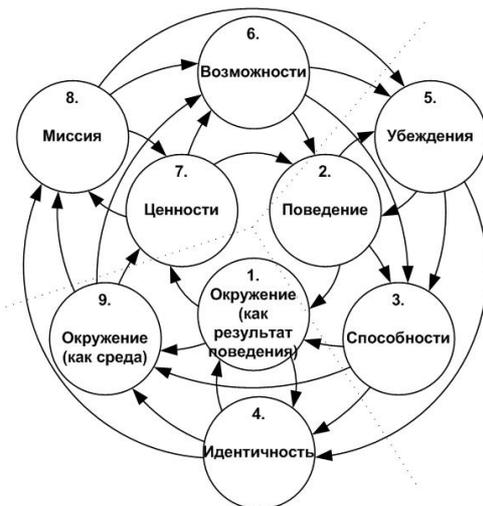


Рис. 4. Логические уровни элементов КМ

На рис. 5 приведена ККМ жизненного цикла научного исследования.

В области исследования выделяется объект исследования с актуальной проблематикой (№ 9), формулируется цель исследования, объект управления (№ 1) и субъект управления (№ 4), формулируются задачи, предмет исследования (№ 7). Формулируется проблема исследования посредством выдвижения рабочих гипотез, принципов, соответствующих теорий (№ 8). Предлагаются подходы, концепции, модели, планы (методологическая база исследования).



Рис. 5. ККМ жизненного цикла научного исследования

Разрабатываются правила, способы, методики (методы исследования) (№ 5), алгоритмы и технологии (№ 2). Выбираются или разрабатываются инструментальные средства или устройства, осуществляются процессы управления жизненным циклом исследования – осуществляется апробация исследования (№ 3). Формулируются результаты исследования (№ 1), научная новизна результатов (№ 4), оценивается качество результатов (№ 7) и практическая значимость исследования (№ 9).

### 3.3. Построение совокупности конфайнмент-моделей

Наиболее важным является не просто построение конкретных моделей, но их совокупности, образующей онтологию предметной области. Для этого предлагается следующий многоуровневый способ. Сначала на первом уровне строится единственная КМ, где в качестве элемента № 1 ставится цель функционирования конкретной системы. Затем на втором уровне строятся восемь моделей, в каждой из которых на место первого элемента по очереди ставится соответствующий элемент модели первого уровня № 2–9. Построение моделей последующих уровней сводится к действиям, аналогичным действиям, используемым при построении моделей второго уровня. Очевидно, что нет смысла при решении конкретной задачи добиваться построения полной совокупности моделей высокого уровня. Поскольку зачастую уже на втором уровне аналитик сталкивается с мо-

делями, являющимися целевыми для других систем.

На примере двухуровневой результативной модели показана фрактальная структура представления знаний в КМ (рис. 6).

Рассмотрим разработку онтологической базы знаний как процесс построения совокупности взаимосвязанных КМ [13, 14]. На уровне построения конкретной КМ возможно применение двух способов. В случае, когда результат модели (№ 1) заранее известен и может быть формально описан, применяется классический индуктивный способ, предложенный Т. В. Гагиным, в соответствии с которым производится заполнение элементов модели последовательно, в порядке «восхождения» по логическим уровням обработки информации от частного к общему. В случаях же, когда построение онтологии само по себе носит исследовательский характер, когда результат заранее просто неизвестен, предлагается применять дедуктивный способ, когда, при сформулированной цели исследования, построение происходит в порядке убывания номеров модели: от общих теоретических положений через модели и методы решения, к конкретному результату деятельности.

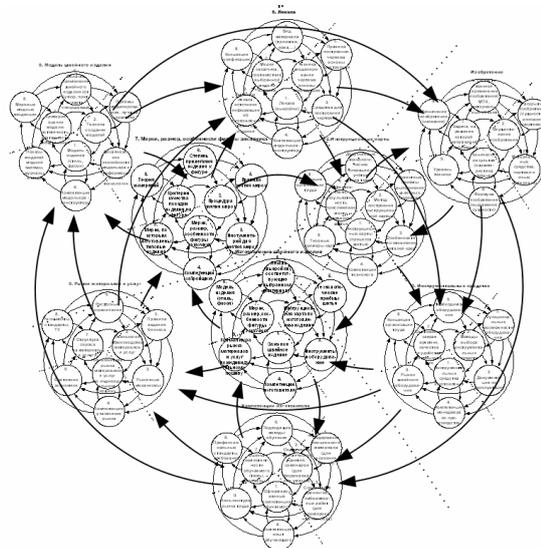


Рис. 6. Фрактальная структура представления знаний в КМ

Следует заметить, что такой способ построения онтологических баз знаний с одной стороны может рассматриваться как избыточный, поскольку далеко не во всех прикладных задачах необходимо рассмотрение их решения на всех логических и семиотических уровнях. Но с другой стороны, он вынуждает аналитика не выпускать из вида основные онтологические отношения предметной области сложной системы, а также позволяет ему управлять процес-

сом последовательного расширения онтологии [15]. К тому же далеко не обязательно, чтобы каждая КМ была заполнена целиком. Также появляется возможность рассчитывать онтологическую «удаленность» различных информационных единиц в базе знаний.

Предлагаемый подход предоставляет исследователю удобный инструмент для последующего выявления закономерностей и проведения анализа сложных систем на основе интеллектуальных методов обработки данных [16].

### 3.4. Математическое и программное обеспечение конфайнмент-моделирования

Когнитивное моделирование сложных систем немислимо без применения персонального компьютера, что связано с постоянно модифицируемой исследователем моделью системы, а также с необходимостью ее симуляции и виртуального тестирования. Все это требует совершенного программного обеспечения, позволяющего выполнять необходимые исследователю операции. В [17] предложен способ симуляции КМ, описанный с помощью модели Simulink, а также рассмотрена программная реализация экспертной системы конфайнмент-моделирования на языке логического программирования Prolog.

Для симуляции, а соответственно для выявления корректности построенной КМ, с помощью экспертной системы необходимо провести ее обучение. Данная процедура заключается во внесении в базу знаний экспертной системы информации о проекте модели и ее математическом представлении.

В качестве математического обеспечения конфайнмент-моделирования была выбрана модификация маркированной сети Петри. Элементам КМ соответствуют позиции сети Петри, а стрелкам – переходы. Как известно из специальной теории сетей Петри, переход разрешен и может быть запущен только в том случае, если в его входной позиции имеются разрешающие фишки по одной для каждой дуги, ведущей из позиции в переход. В результате запуска перехода из его входной позиции извлекаются разрешающие фишки в количестве входящих в переход дуг, а в выходную позицию помещаются фишки в количестве дуг выходящих из перехода.

Модификация, вводимая в общую структуру сети Петри, заключается в следующем [12]. Каждой позиции сети (элементу КМ) присваивается специальная виртуальная маркировочная

фишка активности, которая становится активной только тогда, когда все входящие в нее переходы были реализованы. При этом общее количество входящих в позицию дуг в сети Петри равно количеству входящих в соответствующий элемент стрелок в КМ. Если маркировочная фишка активна, то позиция, которой она принадлежит, также считается активной. Такая модификация дает возможность четко отслеживать активность системы, так как считается, что исходящие из позиции переходы не могут быть запущены, пока позиция не станет активной.

Для влияния одних элементов на другие системе необходим некоторый механизм воздействия. Таким механизмом является информация, соответствующая стрелкам модели. Как правило, такая информация состоит из большого количества деталей предметной области, необходимых для воздействия на элементы системы и приводящих ее в движение. Тогда можно сказать, что воздействие одного элемента на другой, а следовательно, переход из одного состояния активности системы в другое, возможны, если для этого существуют необходимые и предусмотренные моделью условия перехода. Условием перехода и является информация, которую несут стрелки модели, представленная в виде набора булевских переменных с определенными значениями. Для примера, на рис. 1, *a* при переходе из элемента № 1 в элемент № 7 таким набором может являться наличие формализованных функциональных характеристик, полученных на этапе эксплуатации, отзывы пользователей, стабильная работа программного продукта и т. д. Имея набор таких переменных, мы можем поставить в соответствие каждой из них маркировочную фишку и исходящую в переход дугу. Таким образом, маркировочная фишка присутствует в позиции, если соответствующая переменная имеет значение true. Тогда переход разрешен, если весь набор переменных имеет значение true и входная позиция активна. Последнее означает, что предыдущий переход системы закончился успешно. Необходимо заметить, что входящие в позицию дуги переходов никак не влияют на количество содержащихся в ней маркировочных фишек (как определено в теории сетей Петри). Такие дуги влияют на виртуальную фишку активности и являются лишь индикаторами реализации переходов.

На рис. 7 представлен фрагмент модифицированной сети Петри КМ. Позиции *N* и *L* являются активными и содержат необходимое количество фишек для запусков соответствующих переходов  $t_{nm}$  и  $t_{lm}$ . В случае запуска указанных

переходов маркировочные фишки удаляются из позиций  $N$  и  $L$ , а сами позиции станут неактивными. При этом позиция  $M$  станет активной, так как все входящие переходы были реализованы. Переход  $t_{mk}$  может быть реализован, только если в позиции  $M$  появятся разрешающие фишки, которые соответствуют двум булевым переменным позиции.

На этапе обучения экспертной системы исследователь задает необходимые наборы переменных, составляя их по проекту КМ. Таким образом, он вносит математическое представление модели в базу знаний экспертной системы, которая в дальнейшем используется при симуляции работы системы. Этап симуляции подразумевает под собой выполнение каких-либо тестов для подтверждения корректности составленной КМ. Этот этап также помогает аналитику и исследователю при работе в реальной предметной области по утвержденной модели, так как указанные наборы переменных не дают забыть о важных деталях, когда количество таких деталей оказывается достаточно большим.

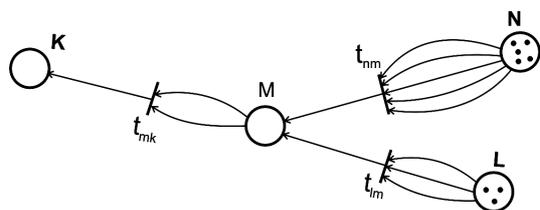


Рис. 7. Пример модифицированной сети Петри КМ

Одним из основных используемых тестов является простейший тест на решение задачи о достижимости в сетях Петри или тест на активность системы. Его суть заключается в симуляции системы с целью определения факта ее безошибочного функционирования. Данный тест проводится для уже утвержденных моделей и помогает пользователям экспертной системы при работе в предметной области, дает возможность учесть все необходимые нюансы и рассмотреть дальнейшую возможную модификацию модели. Пользователь должен лишь настроить параметры модели и запустить симуляцию. В случае если не все параметры были учтены (не все фишки в сети Петри получили значение true), система выдаст предупреждение и укажет место конфликта, т. е. автоматически подскажет о забытой информации. Запуск симуляции может осуществляться с любого элемента модели, даже если не все параметры были установлены. Данный тест сам восстановит

недостающие параметры, сообщая о них пользователю, и продолжит симуляцию.

В качестве реализации программного обеспечения конфайнмент-моделирования разработана экспертная система [18], предоставляющая следующие возможности. Система позволяет как загружать шаблоны стандартных моделей с 9, 6, 4 и 2 элементами, так и создавать модели вручную. Также возможно редактирование сопутствующей информации об элементах и стрелках модели, добавление комментариев. Имеется возможность определения наборов булевских переменных и их начальных значений для каждого из переходов.

Экспертная система разработана на базе Eclipse с помощью объектно-ориентированного языка программирования Java. Ядро экспертной системы составляет управляющий класс Kernel, который расширяет класс Vector и наследует его методы. Таким образом, ядро системы способно хранить переменное число элементов самого общего типа Object и управлять ими. Элементами, хранимыми ядром системы, являются объекты классов Element (элемент) и Arrow (стрелка), расширяющие класс Object и имеющие специализированные свойства и методы, причем каждый объект типа Arrow содержит динамический массив булевских переменных. Также ядро системы отвечает за графическую интерпретацию модели.

Основной функцией экспертной системы, развитие которой предполагается в дальнейшем, является симуляция (тестирование) по готовым моделям. Практика составления КМ и работа с ними указывает на невозможность создать единые тесты для различных исследований. Как правило, та или иная модель требует написания собственного теста для определенного частного случая. Такая задача возлагается на исследователя. Предполагается работа в этом направлении по принципу «открытого кода», т. е. любой пользователь может сам переопределять либо расширять методы тестирования, переопределяя соответствующие функции класса симуляции, тем самым в программе будет создана специальная точка расширения и подробно оговорена информационная структура модели для работы с ней. Класс Simulation обладает методом тестирования и отвечает за интерпретацию ошибок во время выполнения теста. Именно на методы и переменные этого класса ссылается ядро экспертной системы при запросе пользователя о тестировании заданной модели. Таким образом, исследователь может сам создавать необходимый ему инструмент для работы. Использование открытой архитек-

туры в разрабатываемой системе позволяет использовать накопленный практический опыт в рамках исследования одной предметной области для другой в процессе структурирования информационно-интеллектуальных ресурсов организации.

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ ПРЕДЛОЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ

Область применения предложенных моделей и методов достаточно широка. Рассмотрим примеры их применения при управлении ИИР в информационно-емких организациях.

##### 4.1. Поддержка принятия решений по управлению ИИР

ККМ является удобным инструментарием для моделирования процесса принятия решений и может быть использована для идентификации содержания блоков следующих видов систем управления: без обратной связи, по отклонению, по модели, ситуационного, интеллектуального планирования, самосовершенствующих систем различной природы – технических, социальных и экономических. Техническим результатом является расширение функциональных возможностей, оперативность в использовании. Он достигается за счет возможности включения и исключения из системы блоков определенных типов и настройки связей между ними. Модель содержит блоки: формирования программы, оценивания, выработки решений, исполнения решений, анализа состояний системы и среды, адаптации, памяти, обучения, а также объект управления.

При управлении оказанием образовательных услуг, предложенные модели и методы применяются для информационной поддержки принятия решений посредством структурирования ИИР, представленных в форме учебных объектов [19]. С применением конвейерно-моделирования разработаны: модель классификации типов представления учебного материала, включающая в себя основные способы формирования понятий (определение, декомпозиция, перечисление присущих свойств и сопоставление); формализованная модель организации знаний по учебным дисциплинам на примере дисциплин в области информатики для унифицированного представления учебного материала; метод интеллектуальной поддержки для принятия управленческих решений при планировании проведения занятий, использующий онтологическую базу знаний, содержащую формализованные особенности пред-

ставления учебного материала для репродуктивного обучения, и представленную в форме аксиом на языке OWL DL, алгоритм управления процессом обучения на основе структуризации учебного материала при планировании проведения практических занятий [20]. Концепция управления оказанием образовательных услуг позволяет обеспечить информационную поддержку формирования учебного материала для проведения занятий в игровой групповой форме, что приводит к повышению эффективности процесса обучения. Внедрение результатов исследования работы осуществлено в ряде образовательных учреждений высшего и среднего специального профессионального образования г. Уфы (УГАТУ, БСК и др.), а также при аттестации сотрудников администрации Советского района ГО г. Уфа [21].

При оперативном управлении оказанием комплексных осязаемых услуг, предложенные модели и методы применяются для информационной поддержки принятия решений посредством структурирования ИИР, относящихся к правилам организации процесса оказания услуг, особенностям технологического процесса оказания услуг, индивидуальным предпочтениям клиентов [22]. Сформированная в результате такого структурирования онтологическая база знаний на языке OWL DL используется в работе многоагентной системы планирования оказания комплексных услуг на базе агентной платформы JADE в среде JAVA. Процесс многоагентного планирования основывается на принципах самоорганизационного управления, таких как агентно-ориентированное управление на основе холистической парадигмы, субъект-субъектные системные отношения, кооперативное поведение и наличие распределенной базы знаний [23]. Внедрение результатов исследования осуществлено в ряде организаций индустрии здоровья и красоты г. Уфы и Республики Башкортостан (санатории, лечебно-профилактические учреждения, салоны красоты и фитнес-клубы) и позволяет получить экономический эффект за счет сокращения простаивающего оборудования и увеличения их пропускной способности (койкооборотачиваемость, клиентооборот) [24].

При управлении развитием инфраструктуры информационных технологий (ИТ) организаций в сфере ИТ-услуг (ООО «Чекофф», ООО «УралИнфоПроект», ООО «Сервис-Центр Регион» и др.), предложенные модели и методы применяются для информационной поддержки принятия решений посредством структурирования ИИР, относящихся к бизнес-требовани-

ям, каталогу ИТ-услуг, ИТ-инфраструктуре, характеристикам компонент и их взаимосвязям, что позволяет осуществлять подбор компонент в соответствии с текущим состоянием ИТ-инфраструктуры и каталогом ИТ-услуг. Сформированная онтологическая база знаний дает возможность ориентироваться в динамично изменяющемся рынке программного, аппаратного и информационного обеспечения, предоставляя не просто справочную информацию, но и детальную оценку каждого продукта, а также позволяет накапливать статистику выбора для дальнейшего использования в схожих ситуациях [25]. Метод информационной поддержки принятия управленческих решений, в отличие от известных, основан на методике оценки компонент ИТ-инфраструктуры и позволяет осуществлять поддержку принятия решений на базе групповой экспертной оценки с изменением мер компетенций экспертов, многокритериального выбора компонент ИТ-инфраструктуры. Методика оценки компонент основана на выделении по критерию применимости иерархического множества общих и специфических для данного класса компонент характеристик разного уровня сложности, а также модификации метода анализа иерархий Т. Саати и декомпозиции компонентов на совокупность бизнес-функций. Применение конфайнмент-моделирования для построения иерархии (цели, факторы, факторы, альтернативы) при осуществлении многокритериального принятия решений позволяет существенно формализовать этот процесс [26].

#### 4.2. Поддержка выполнения информационно-емких проектов

Другое применение онтологических моделей и методов для управления информационно-интеллектуальными ресурсами в организации заключается в информационной поддержке выполнения проектов, когда на первый план выходит проблема обеспечения взаимопонимания между специалистами, особенно из различных областей знаний. Известные же системы поддержки выполнения проектов (такие как MS Project, Spider Project и др.) являются семантически замкнутыми относительно заложенной в них парадигмы, и не позволяют закладывать в систему знания, относящиеся к исследуемым предметным областям, что не позволяет решать с их помощью ряд проблем как прикладного, так и фундаментального характера.

С целью практической реализации предложенных моделей и методов, были выделены

следующие способы коммуникации по степени их формализации: «живое» общение: телефон, видеоконференции, личные встречи, «сайт-фон», чат; официальное общение: блоги, форумы, helpdesk, электронная почта; библиотека документов: контракты, договоры, отчеты, обзоры, книги, служебные записки; формализованная интегрированная информация: базы знаний. Пользователь осуществляет поиск необходимой ему информации на самом высоком уровне формализации (семантический поиск). На этом же уровне представлены все готовые информационные продукты: интерпретация баз данных, детальное структурированное описание информационных ресурсов и методов управления ими. В случае если необходимого ресурса нет, или же он представлен в неприемлемом для пользователя виде, то формируется заказ на создание нового ресурса либо формы представления имеющегося ресурса. Поставщики ресурсов предоставляют ресурсы в форме, пригодной для анализа и управления этими данными.

Взаимодействие между пользователями и поставщиками осуществляется в виде заказов на информационные ресурсы, которые можно разделить на собственно информацию и форму ее представления. Пользователь может получить информацию от поставщика в устной форме, документе или в виде интерпретированного запроса к базе данных.

Проведенный системный анализ способов коммуникации (взаимодействия) исполнителей проектов позволил выделить следующие уровни коммуникации, различающиеся по степени абстрагирования информации, влиянию человеческого фактора, затратам на поддержку взаимодействия, на приобретение знаний, документирование, администрирование, поддержку и модификацию данных [27]: личные контакты, видео/аудио-связь, мгновенный обмен сообщениями, электронная почта и системы документооборота, использование специализированных баз данных и знаний (прикладных онтологий), применение баз знаний (онтологий предметных областей), а также уровень согласования онтологии верхнего уровня и выбора онтологии представления.

При этом предложенные модели и методы применяются для интеграции перечисленных способов представления информации в рамках единой онтологической модели:

$$O = O^{OBU} \cup O^{BPIU} \cup O^{PrO} \cup O^{Ogr} \cup O^{OnD},$$

где  $O^{OBU}$  – онтология верхнего уровня,  $O^{BPIU}$  – онтология процессов управления проектами,

$O^{PrO}$  – онтологии предметных областей выполняемых проектов,  $O^{огр}$  – ограничения, накладываемые на роли концептов в отношениях,  $O^{опд}$  – оперативные данные по выполняемым проектам [28].

В частности, с применением предложенных моделей и методов разработано программное обеспечение (ПО) для управления коммуникационными процессами при выполнении распределенных проектов разработки ПО, использующее онтологическую базу знаний и применяемое в ряде организаций, занимающихся оффшорной разработкой ПО (ООО «Инлайн», ООО «Программные системы и технологии»). В основе базы знаний лежит ПКМ жизненного цикла разработки ПО, отличающаяся тем, что обобщает известные модели жизненного цикла (каскадную и спиральную) и расширяет их, используя основные системные зависимости между процессами разработки ПО, содержащие условия их реализуемости, и позволяет естественным образом представить ее в виде набора экземпляров знаний онтологии и явно определить направления и содержание информационного обмена между участниками проекта в процессе их коммуникации в условиях распределенного пространства. Данная модель позволяет разместить в компьютерной среде необходимые ИИР и обеспечить эффективное взаимодействие разработчиков ПО.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена концепция по управлению интеллектуальным капиталом в информационно-емких организациях, отличающаяся тем, что она основана на построении онтологической базы знаний информационно-интеллектуальных ресурсов для решения задач поддержки принятия решений и управления взаимодействием при выполнении проектов оказания нематериальных услуг.

Предложен метод структурирования информационно-интеллектуальных ресурсов организации в онтологической базе знаний, отличающийся тем, что он основан на построении совокупности взаимосвязанных когнитивных моделей специального вида (конфайнмент-моделей), сочетании методов системного анализа и синтеза, вывода по аналогии и выявления системных триад, а также использовании специальной процедуры мозгового штурма для обеспечения эффективного взаимодействия аналитиков и экспертов.

Практическое применение предложенных моделей и методов показало повышение эф-

фективности построения онтологических баз знаний информационно-интеллектуальных ресурсов, выражающееся в снижении временных затрат, необходимых для взаимодействия аналитиков с экспертами на 30–50%, а также упрощении структуры получаемых моделей в сравнении с традиционными методами построения баз знаний на 40–80%.

В настоящее время разработанные с применением предложенных моделей и методов онтологические базы знаний применяются в управлении информационно-интеллектуальными ресурсами в ряде образовательных и научных организаций, предприятий индустрии здоровья и красоты, а также организаций, занимающихся оффшорной разработкой ПО и оказанием ИТ-услуг. Использование предлагаемого метода предоставляет удобный инструмент для эффективного управления интеллектуальным капиталом информационно-емких организаций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скоблякова И. В. Инновационные системы и венчурное финансирование. М.: Машиностроение-1, 2006. 210 с.
2. Лукичева Л. И. Управление интеллектуальным капиталом. М.: Омега-Л, 2008. 552 с.
3. Gruber, T. R. The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases // Principles of Knowledge Representation and Reasoning: Proceedings of the Second International Conference. Cambridge, MA, Morgan Kaufmann, 1991. P. 601–602.
4. Gruber T. A Translational Approach to Portable Ontologies // Knowledge Acquisition. 1993. Vol. 5, No.2. P. 199–220.
5. Берс А. А. О понятии «СМЫСЛ» в информатике // Объединенный семинар «Интеллектуальные системы» Ин-та систем информатики им. А. П. Ершова, Российск. НИИ искусственного интеллекта и кафедры программирования Новосибирск. гос. ун-та. Новосибирск: ИСИ СО РАН, 9 декабря 2004 г.
6. Соломник А. Парадигма семиотики: очерки по общей семиотике. Мн.: МЕТ, 2006. 335 с.
7. Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. The Semantic Web // Scientific American, May 17, 2001.
8. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, Applications / F. Baader [et al]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2003. 555 p.
9. Системно-когнитивный подход к управлению жизненным циклом научно-исследовательского проекта / Д. В. Попов [и др.] // Мехатроника, автоматизация, управление. 2005. № 8. С. 34–39.
10. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton University Press, 1976.

11. **Гагин Т. В., Бородин С. С.** Как выделить главное: принципы конфайнмент-моделирования [Электронный ресурс] (<http://www.gagin.org>).
12. **Попов Д. В., Поляковский С. Ю., Мухачева Н. Н.** Математическое и программное обеспечение конфайнмент-моделирования сложных систем // Принятие решений в условиях неопределенности: Межвуз. науч. сб. Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2007. С. 19–26.
13. **Попов Д. В., Ризванов Д. А., Мухачева Н. Н.** Системно-когнитивный подход к построению онтологических баз знаний // Матер. XIII Байкальск. Всероссийск. с междунар. участием конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». 2008. Т. 1. С. 289–295.
14. **Попов Д. В., Мухачева Н. Н., Ризванов Д. А.** Разработка распределенных онтологических баз знаний на основе системно-когнитивного моделирования предметных областей // Философские и прикладные вопросы методологии искусственного интеллекта. М.: Машиностроение, 2009. С. 156–162.
15. **Мухачева Н. Н., Попов Д. В.** Системно-когнитивная технология моделирования учебной, научной и инновационной деятельности // Тр. XII Байкальск. Всероссийск. конф. с междунар. участием «Информационные и математические технологии в науке и управлении». 2007. Ч. III. С. 40–50.
16. **Мухачева Н. Н., Попов Д. В.** О применении методов управления знаниями в системах компьютерной поддержки инновационной деятельности // Принятие решений в условиях неопределенности: Межвуз. науч. сб. Уфа: Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т, 2007. С. 27–34.
17. **Popov D. V., Rizvanov D. A., Yussupova N. I.** Intelligent Approaches to Software Development for Cognitive Modeling of Complex Systems // Computer Science and Information Technologies (CSIT'2004). 2004, Vol. 2. P. 42–47.
18. **Ризванов Д. А., Попов Д. В.** Программа для ЭВМ: Экспертная система для когнитивного моделирования сложных систем «ConfExpert». Версия 1.0. Рег. № 50200500303 // Информационный бюллетень «Алгоритмы и программы» ФГУП «Всероссийский научно-технический информационный центр». 2006. № 1. С. 58.
19. **Попов Д. В., Мухачева Н. Н., Сабирьянова Г. Р.** Модели описания упражнений для изучения математики в игровой форме // Обзорение прикладной и промышленной математики. 2008. Т. 15, в. 2. С. 348–350.
20. **Сабирьянова Г. Р., Мухачева Н. Н.** Онтологические и игровые модели для автоматизированных обучающих систем // Матер. 10-й Междунар. конф. «Компьютерные науки и информационные технологии» (CSIT'2008). Анталия, Турция, 2008. Т. 2. С. 48–53 (на англ. яз.).
21. **Попов Д. В., Сабирьянова Г. Р., Мухачева Н. Н.** Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2009611645. Система управления учебным материалом при репродуктивном обучении. М.: Роспатент, 27 марта 2009 г.
22. Подход к разработке системы календарного планирования с применением онтологической базы знаний / Д. В. Попов [и др.] // Прил. к журн. «Открытое образование». 2007. С. 82–84.
23. **Попов Д. В.** Оперативное управление процессом оказания услуг с применением распределенных интеллектуальных систем // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. «Информатика. Телекоммуникации. Управление». СПб: СПбГПУ. 2008. № 6 (69). С. 13–22.
24. **Попов Д. В., Богданова Д. Р., Ризванов Д. А.** Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2008613990 (Многоагентная система составления графика оказания услуг на основе онтологической базы знаний). Роспатент, 21 августа 2008 г.
25. **Галямов А. Ф., Попов Д. В.** Анализ информационной и ИТ-инфраструктур организации // Программные продукты и системы. 2009. № 1 (85). С. 91–93.
26. **Попов Д. В., Галямов А. Ф.** Свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ № 2009610345. Система поддержки принятия решений по развитию инфраструктуры организации. М.: Роспатент, 19 марта 2009 г.
27. Модели и методы поддержки выполнения проектов в распределенном информационном пространстве / Н. И. Юсупова [и др.] // Вестник Иркутск. гос. техн. ун-та. 2006. № 2 (26), т. 3. С. 16–22.
28. Поддержка коммуникативных процессов при выполнении проектов фундаментальных исследований сложных систем Н. И. Юсупова [и др.] // Вестник УГАТУ. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2008. Т. 11, № 1 (28). С. 108–114.

## ОБ АВТОРАХ



**Мухачева Наталья Николаевна**, соиск. каф. выч. математики и кибернетики, отв. секретарь Совета по НИРС УГАТУ. Дипл. инж.-технолог (Кировск. политехн. ин-т, 1990). Иссл. в обл. онтологическ. моделир-я сложных систем.



**Попов Денис Владимирович**, докторант, доц. той же каф. Дипл. инж.-программист (УГАТУ, 1995). Канд. техн. наук по системам автоматизации проектирования (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. интеллект. поддержки принятия решений в соц. и экон. системах.