

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ: МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД

**А.Н. Швецов**

*Вологодский государственный университет*  
Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, 15  
E-mail: [smithv@mail.ru](mailto:smithv@mail.ru)

**Е.В. Сибирцев**

*Вологодский государственный университет*  
Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, 15  
E-mail: [sibircevev@mh.vstu.edu.ru](mailto:sibircevev@mh.vstu.edu.ru)

**И.А. Андрианов**

*Вологодский государственный университет*  
Россия, 160000, Вологда, ул. Ленина, 15  
E-mail: [avt@mh.vstu.edu.ru](mailto:avt@mh.vstu.edu.ru)

**Ключевые слова:** компьютерные системы обучения, агентно-ориентированный подход, интеллектуальные агенты, методология построения интеллектуальных агентно-ориентированных учебных комплексов

**Аннотация:** Рассматривается проблема интеллектуализации компьютерных обучающих систем в рамках агентно-ориентированного подхода. Обосновывается методология создания мультиагентных обучающих систем, описывается архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса, предназначенного для подготовки специалистов технического профиля. Приводится описание экспериментального прототипа подобного комплекса и особенностей его реализации.

## 1. Проблема интеллектуализации компьютерных обучающих систем

Интенсивное развитие инфосферы поставило перед образовательными системами общества серьезные проблемы эффективной передачи знаний, опыта, умений и навыков старших поколений вступающей в жизнь молодежи. Развитые страны мира поставили задачи реформирования системы образования на уровень важнейших стратегических задач государства. Значительную роль в решении этих задач могут сыграть информационные и интеллектуальные технологии, открывающие принципиально новые возможности для повышения эффективности образовательного процесса.

Такие технологии основаны на интенсивно развивающихся теоретических направлениях информатики, таких как распределенные вычисления, теория интеллектуальных и мультиагентных систем, нейросетевые и эволюционные алгоритмы, методы эффективного информационного поиска и интеллектуального анализа данных. Для приложения многих результатов фундаментальных исследований к конкретным предметным областям необходима их серьезная адаптация [1].

Российская высшая школа вступила на путь реформирования вместе со всем обществом в начале девяностых годов прошлого века, заимствуя европейский и североамериканский опыт. К сожалению, многие осуществляемые преобразования носят неконструктивный контринфосферный характер. Это выражается в увеличении времени обучения в средней школе, вопреки возможностям интенсификации обучения за счет применения баз знаний, компьютерного моделирования проблемных ситуаций, дистанционного диалога «ученик-учитель» и другим аналогичным возможностям, предоставляемым современной инфокоммуникационной средой.

Формируется тенденция к упрощению ряда учебных материалов, в том числе и в высшей школе, как следствие снижения уровня подготовки абитуриентов и высокой загруженности профессорско-преподавательского состава высших учебных заведений, формального подхода к управлению качеством и борьбы за количественные показатели. На протяжении ряда лет в научной практике применялись пониженные требования к подготовке и переподготовке профессорско-преподавательского состава, связанные с разрушением ряда научных школ, разрывом преемственности в российской науке и образовании, снижением качества кандидатских диссертаций.

Эти неконструктивные тенденции явно противоречат возрастающим требованиям современной техносферы – нелинейному росту сложности технических и инфокоммуникационных систем, увеличению требуемых от специалистов объемов знаний, умений и навыков, необходимостью принимать нетривиальные организационные и технические решения в изменяющейся корпоративной среде, высокой динамике технических знаний.

Таким образом, сформировались противоречия между системным ростом сложности современной техносферы и контринфосферным характером изменений в области образования, между ускорением и усложнением системной динамики техносферы и тенденциями примитивизации образования и снижения его качества.

Отсюда вытекает проблема разработки новой образовательной парадигмы информационного общества XXI-го века – парадигмы инфокоммуникационной образовательной среды или ноосферного образования, аккумулирующей знания и опыт социума, эволюционирующей в согласованных темпомирах ноосферы, развивающей творческие и когнитивные способности каждого индивидуума.

За последние десятилетия сформировался ряд направлений интеллектуализации компьютерных обучающих систем (КОС):

- специализированные экспертно-обучающие системы (ELM-ART-II, AST, ADI, ART-Web, ACE, KBS-Hyperbook, ILESA, DCG, SIETTE, КОНВАКС, МАРКЕТ-ПРИУС, ТЕРРА-УЧИТЕЛЬ);
- системы с использованием гипертекста и гипермедиа (InterBook, ELM-ART, WEST-KBNS);
- интегрированные системы (гипертекст/гипермедиа и экспертные системы) (Knowledge Pro, INTERNIST, TIES, КРЕДО, SATELIT);
- интеллектуальные обучающие инструменты (Sap Aktiengesellschaft, KnowledgeXtensions, Novell, Corrugated Services Corp.);
- интеллектуальные агентно-ориентированные системы (Гефест, СДО ХГТУ, MathTutor, OPUS One – OLAT, MOCAS).

Несмотря на достигнутые результаты, становление новой образовательной парадигмы интеллектуального инфокоммуникационного обучения с использованием всего спектра когнитивных, методологических, телекоммуникационных, программно-технических возможностей современной инфосферы еще продолжается.

Отчетливо просматривается тенденция наделяния КОС новыми интеллектуальными способностями, такими как:

- способность адаптации к целям обучения и личностным характеристикам обучаемого;
- экспертиза состояния обучаемого и его положения в структуре целей учебного процесса;
- анализ реализуемой стратегии обучения, выбор или построение новой стратегии, соответствующей целям обучения и текущему состоянию процесса;
- придание человеко-машинному интерфейсу личностных и эмоциональных свойств;
- использование дополнительных сервисов и инструментов, обладающих определенной самостоятельностью.

Такие способности изначально соответствуют концепции интеллектуальных агентов и парадигме агентно-ориентированного подхода [2]. На решение данной проблемы направлены поисковые научно-исследовательские работы, выполняемые коллективом научно-образовательного центра (НОЦ) «Интеллектика» Вологодского государственного университета.

## **2. Теоретические основы мультиагентного подхода к построению компьютерных обучающих систем**

Теоретической базой исследования и разработки агентно-ориентированных КОС является метаметодология построения мультиагентных интеллектуальных систем (МАИС), разработанная коллективом НОЦ «Интеллектика» в рамках проектов РФФИ №08-01-00457а «Исследование фундаментальных проблем построения мультиагентных интеллектуальных систем», 12-01-00277а «Математические модели и методы построения интеллектуальных агентных сообществ в эволюционирующих средах» и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» [3].

Метаметодология направлена на создание мультиагентных интеллектуальных систем (МАИС), отражающих выбранное подпространство реального или виртуального мира во всей возможной полноте его эмпирически проявленных и не проявленных свойств. Для этого используется понятие модельного пространства мира (МПМ), как высокоуровневого гносеологического концепта, охватывающего ту часть реальности, которая моделируется МАИС, и компоненты внешней среды, которые существуют в онтологическом единстве с МАИС. Особенностью метаметодологии является включение в область изменчивой действительности как реальных, так и виртуальных миров, которые уже являются информационными представлениями других миров (возможно также виртуальных). Таким образом, возникает многоуровневое вложенное представление о мире, в котором существуют и действуют физические и информационные сущности.

Такой подход позволяет рассматривать анализ, моделирование и проектирование собственно МАИС как единый многоуровневый итерационный процесс, позволяющий получить модели МПМ с различной степенью детализации действительности.

Метаметодология построения МАИС опирается на следующие принципы:

- а) принцип всеобъемлющего знания о модельном пространстве мира устанавливает необходимость возможного полного системного изучения МПМ и отражения его в различных аспектах познания – онтологическом, гносеологическом, когнитологическом, системологическом, текстологическом, формально-логическом, синергетическом;
- б) принцип объединения процессов моделирования, проектирования и функционирования устанавливает необходимость создания модели МПМ через ее реализацию и

последовательное уточнение МАИС в следующем цикле: моделирование – извлечение знаний из результатов моделирования – уточнение модели МАИС – проектирование – функционирование – уточнение знаний по результатам функционирования – уточнение модели МАИС – моделирование и т.д.;

- с) принцип постоянного изучения (рефлексии) модельного пространства мира устанавливает необходимость постоянного (в течение всего жизненного цикла МАИС) исследования динамики МПМ через моделирование и извлечение знаний в процессе функционирования МАИС в ее собственном системном времени;
- d) принцип индивидуальности темпомиров устанавливает необходимость учета индивидуального хода времени для различных сущностей МПМ и отражения темпомиров в поведении агентов и объектов;
- е) принцип многоуровневой интеллектуальной организации требует отражения в моделях МПМ существующей в изменчивой действительности интеллектуальной и организационной иерархии и создания агентов, соответствующего интеллектуального уровня;
- f) принцип мультипликативности интеллектуальных агентов устанавливает возможность представления каждой сущности МПМ посредством необходимого числа интеллектуальных агентов (ИА);
- g) принцип вариативности постулирует возможность интерпретации этапов и переходов метаметодологии в зависимости от конкретной предметной области моделирования, модели ИА и целевой программно-аппаратной платформы реализации.

Отправной точкой метаметодологии является выделение интересующего нас фрагмента действительности, моделируемого подпространства реального или виртуального мира. Это модельное пространство находит свои отражения в когнитивных пространствах экспертов данной предметной области или нескольких областей, в эмпирических портретах системы, находящейся внутри МПМ, в вербальных описаниях (тексты, документы), в имеющихся ранее полученных формальных моделях фрагментов МПМ. К этим отражениям применяются соответствующие методы извлечения знаний – коммуникативные, системологические, текстологические. В результате формируется концептосфера МПМ, содержащая множество концептов, объективно присущих рассматриваемой предметной области, их возможные свойства и отношения. Выявляются модельные представления, проекции концептосферы в различных аспектах существования, определяющие классы моделей, необходимых для адекватного описания МПМ (поведенческие, иерархические, социальные, логические). Эти модели определяют структуру конкретной методологии, необходимой для построения МАИС в данной области.

Особенностью разрабатываемой метаметодологии проектирования МАИС является комплексный характер развиваемого подхода, что требует применения совокупности философских, математических и формально-логических методов исследования сложных систем (структура метаметодологии представлена на рис. 1).

В процессе отражения изменчивой действительности (реальных и виртуальных миров) в МПМ онтологическому анализу подвергаются реальные сущности  $Er_i$ , образующие множество  $ER = \{Er_i | i = 1...N_r\}$ , номинальные сущности  $En_j$ , образующие множество  $EN = \{En_j | j = 1...N_n\}$ , потенциальные сущности  $Ep_f$ ,  $EP = \{Ep_f | f = 1...N_f\}$ , которые на момент исследования не проявились, но могут появиться в будущем. Некоторые из  $Er_i$ ,  $En_j$  и  $Ep_f$  определяются как классы сущностей, которые могут содержать произвольное число экземпляров (конечное или бесконечное).

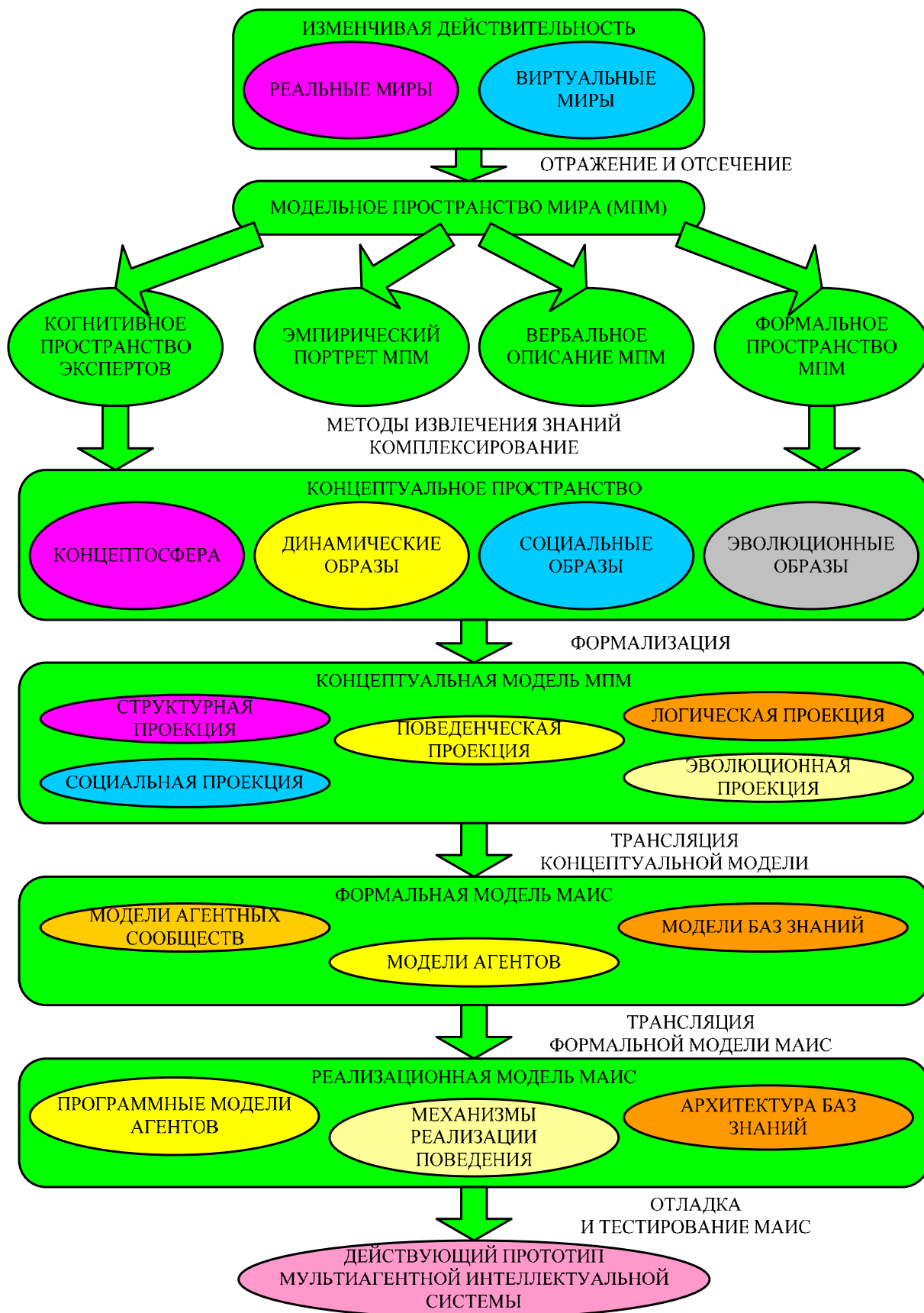


Рис. 1. Структура метаметодологии построения МАИС.

Эксперты предметной области и инженеры по знаниям присваивают этим сущностям уникальные имена, являющиеся прообразами будущим концептов. Отбор сущностей производится методом экспертных оценок, состав множеств  $ER, EN, EP$  и всевозможные мыслимые отображения на этих множествах определяют неявную границу МПМ и его нулевое модельное приближение. В результате ментальной обработки экспертами нулевого приближения МПМ формируются индивидуальные образы, из которых методом репертуарных решеток выделяется когнитивный образ концептосферы МАИС, содержащий базовое множество концептов МПМ, свойств этих концептов и их атрибутов.

По этим множествам концептов, свойств и атрибутов собирается вся доступная эмпирическая информация, характеризующая исследуемый мир как системный феномен.

Уточнение параметров концептосферы производится с использованием методов семантического анализа текстов, описывающих МПМ в форме различных вербальных первоисточников (соединяются метод анализа «Смысл»-«Текст» [4] и модель неоднородных семантических сетей Г.С. Осипова [5]).

По собранным эмпирическим данным выполняется системная реконструкция МПМ в соответствии с концепцией физики систем (Б.Ф. Фомин, Т.Л. Качанова) [6], позволяющая доказательно выявить значимые концепты, свойства и атрибуты, установить наличие отношений между концептами, определить меру взаимосвязи концептов. Определение локальностей по статистическим данным позволяет обосновать иерархию концептов в МПМ, установить структуру концептуального пространства. Выполнение системного анализа по имеющимся временным срезам МПМ позволяет сформировать динамические, социальные и эволюционные образы.

Формализация моделей МПМ выполняется с применением идеологии фрейм-концептов, концептуальных графов, механизма сценариев, генерируемых во взаимодействии поведенческих, социальных и эволюционных проекций [7]. Применяются трансляторы формальных моделей МАИС в реализационные модели, учитывающие специфику выбранной программно-аппаратной платформы. Для построения трансляторов используется формализм канонических исчислений Э. Поста, квазиканонические исчисления Н.А. Шанина и схемы атрибутивной трансляции [8].

Под действующей моделью МПМ (ДМ-МПМ) понимается программная или программно-аппаратная модель, реализующая в информационном или физическом смысле основные аспекты поведения МПМ. Функционирование такой модели в модельном времени позволяет проанализировать поведение МАИС на множестве модельных ситуаций, которые возможно еще не были известны в действительности, но существуют как потенция МПМ. Функционирование ДМ-МПМ в реальном времени становится возможным, если вместо внутренних моделей агентов информационной среды к МАИС подключаются реальные информационные или физические агенты. Тогда становится возможным параллельное функционирование двух действующих моделей МПМ – интенциональной модели (ИМ), напрямую не зависящей от реального мира и экстенциональной модели (ЭМ), непосредственно связанной с реальным миром.

Таким образом, интенциональная модель позволит выявить латентные знания о свойствах и поведении МПМ, существующих потенциально, а экстенциональная модель получать новые знания, предоставляемые изменчивой действительностью. Далее производится уточнение как ИМ, так и ЭМ, и выполняется новый цикл моделирования и получения знаний. Такой итерационный процесс следует продолжать до тех пор, пока не будет достигнуто состояние ЭМ, удовлетворяющее заданным критериям адекватности или качества функционирования. Возможно постоянное совместное функциониро-

вание ИМ и ЭМ для выявления и предсказания будущих отклонений или принципиальных изменений в МПМ.

### **3. Методология построения и архитектура интеллектуальных агентно-ориентированных учебных комплексов**

Методология создания ИАОУК опирается на интегрированный математический аппарат описания и моделирования ИАОУК, определяет обобщенную архитектуру комплекса, дополняется формальными и программно-алгоритмическими моделями интеллектуальных агентов ИАОУК, реализуемыми в алгоритмическом и программном обеспечении комплекса [9-11].

Агентно-ориентированные учебные комплексы должны обеспечивать:

- a) порождение, модификацию и эволюцию индивидуальных моделей каждого обучаемого во всей полноте его психологических, ментальных и профессиональных качеств и параметров;
- b) взаимодействие обучаемого с виртуальным миром (ВМ) – моделью изучаемой предметной области с учетом требуемых компетенций и межпредметного взаимодействия;
- c) порождение, модификацию и эволюцию индивидуальных моделей каждого преподавателя-эксперта с возможностью создания виртуального мира каждого преподавателя как носителя его индивидуальности и пространства знаний;
- d) гибкое адаптивное управление процессами обучения каждого обучаемого с динамическим формированием учебного материала и тестовых баз в соответствии с изменениями виртуальных миров;
- e) автоматический поиск, извлечение и накопление новых знаний в совокупности предметных областей ИАОУК;
- f) эволюционное развитие ИАОУК в соответствии с динамикой изучаемых предметных областей, изменением компетенций и требований на соответствующих образовательных уровнях;
- g) порождение, модификацию и эволюцию комплексных виртуальных моделей специалиста соответствующего уровня (модель «идеального специалиста»).

Обобщенная структура ИАОУК определяется как совокупность сообществ ИА (СИА), административных и функциональных компонентов (подсистем), опирающихся на программно-технологическую платформу базовых сервисов.

Агентно-ориентированный подход позволяет создавать сложные динамические модели предметных областей, наиболее приближенные к реальности моделируемых сред и ситуаций. Такие модели в рамках ИАОУК разрабатываются как виртуальные миры предметных областей (ВМПО).

С архитектурной точки зрения ИАОУК является сложной распределенной многопользовательской информационной системой, которая может быть адекватно представлена только при помощи многоуровневых (многослойных) архитектурных моделей.

Каждый уровень является сравнительно независимым, может быть описан отдельно и разработан автономно, а способы взаимодействия между уровнями унифицированы. Разработанная авторским коллективом архитектура ИАОУК логически разделена на несколько уровней (слоев) (рис. 2.): уровень взаимодействия с пользователем (front-end); уровень агентов, который, в свою очередь, содержит несколько подуровней; уровень сервисов; уровень представлений; уровень базовых компонентов (back-end).

Клиентский уровень (Front-end) обеспечивает пользовательский и программный интерфейс для доступа к системе. Он принимает запросы пользователей, передает за-

просы подходящим службам промежуточного слоя и отображает соответствующие ответы на запросы пользователя. В качестве клиента может выступать Web-браузер, отдельное приложение (написанное на Java, C++, C# или Visual Basic) или мобильное приложение.

Уровень агентов отвечает за реализацию интеллектуальных функций, использует гибридную архитектуру и иерархическую модель их взаимодействия. Выделен отдельный метаагент, осуществляющий координацию распределенного решения задач агентами и межагентное взаимодействие, обеспечивая совместимость форматов сообщений между агентами. Агенты-координаторы могут присутствовать и внутри каждого сообщества ИА, эти агенты играют роль брокеров между агентами, запрашивающими некоторые ресурсы, которыми обладают другие агенты, и теми агентами, которые эти ресурсы могут предоставить. В гибридной агентно-ориентированной архитектуре выделены три уровня агентов:

- уровень человеко-машинного взаимодействия, отвечающий за представление информации пользователям ИАОУК (обучаемые и преподаватели) и интерактивное взаимодействие с каждым конкретным пользователем с максимальным удобством для него, вне зависимости от того, каким клиентом (браузер, мобильный клиент, другой клиент) он пользуется для связи с ИАОУК;
- уровень пользовательских агентов, каждый из которых реализует логику взаимодействия с пользователем в зависимости от его роли в ИАОУК;
- уровень базовых агентов, которые несут основную нагрузку в процессе функционирования ИАОУК, обеспечивая возможности параллельного и независимого протекания двух основных процессов – адаптивного обучения студентов и управления обучающими материалами со стороны преподавателей (создание и модификация учебных курсов, анализ качества обучения и т.д.).

Агент человеко-машинного взаимодействия принимает на себя все функции взаимодействия программных моделей с различными клиентами, управляет процессами подключения новых видов клиентов и модернизации существующих клиентских приложений. Благодаря наличию данного агента вся основная часть ИАОУК является инвариантной по отношению к типу клиента.

Уровень пользовательских агентов включает множество агентов обучаемых и преподавателей (по ролям). Наличие собственного агента для каждого обучаемого позволяет организовать индивидуализированное адаптивное обучение студентов на основе динамически пополняемой модели обучаемого. Агенты преподавателей, являясь индивидуальными помощниками преподавателей, для преподавателей-тьюторов служат поддержкой в принятии решений по стратегии и тактике адаптивного обучения и создают комфортные условия преподавателям-экспертам в процессе управления знаниями предметных областей ИАОУК и подготовке обучающихся материалов.

Интеллектуальной основой ИАОУК является множество базовых интеллектуальных агентов, которые исполняют свои функции по запросам пользовательских агентов. Среди них выделим сообщество агентов процесса обучения, которые по запросам агентов обучаемого и преподавателя-тьютора выполняют интеллектуальные функции поддержки процесса гибкого адаптивного обучения. В процессе обучения они используют результаты работы агентов генерации тестовых заданий.

Процесс управления знаниями в ИАОУК обеспечивается группой соответствующих ИА, в которую входят агенты управления знаниями, взаимодействующие с агентами семантического поиска информации.

Функции управления согласованной совместной работой ИА исполняют административные агенты, они же обеспечивают исполнение стандартных административных



функций (регистрация пользователей, авторизация и аутентификация, открытие и завершение сеансов работы, запуск стандартных служб и т.д.).

Уровень сервисов осуществляет трансляцию запросов агентов в необходимые действия по работе с распределенными данными и функционально разделен на два уровня: уровень базовых сервисов и уровень прикладных сервисов.

Применение сервис-ориентированных технологий при построении ИАОУК дает следующие преимущества:

- интеграция приложений, созданных с применением различных технологий, использующих для обмена информацией сервис-ориентированные протоколы;
- возможность подключать к ИАОУК дополнительные программные компоненты сторонних разработчиков (мультимедийные и обучающие программы);
- реализация удаленных сервисов (например, сервисов хранения и поиска информации, сервисов обработки звука и изображений и т.д.) и предоставление их “внешним” потребителям, в том числе интеллектуальным агентам;
- обеспечение доступа разнородных клиентов (например, стационарных, мобильных или браузерных клиентов) к распределенному ИАОУК.

Базовые сервисы предлагаемой архитектуры включают: сервисы регистрации, аутентификации и авторизации; сервисы доступа к данным; сервисы извлечения знаний; сервисы поиска данных.

Для обеспечения безопасности используются три открытых стандарта – WSS (Web Services Security), SAML (Security Assertion Markup Language) и WS-Trust (Web Services Trust), которые способны гарантировать идентификацию пользователя путем включения нужной информации в SOAP-запрос. Конфиденциальность и целостность сообщений реализуются за счет шифрования XML и XML-подписи (стандарты W3C). WS-Security определяет технику использования электронной подписи и криптозащиты в SOAP.

Аутентификация и авторизация используют разные профайлы для передачи маркеров (token) безопасности в заголовках сообщений WS-Security.

WS-Security определяет профайлы для различных типов маркеров безопасности. Сюда входят профайлы для Kerberos ticket'ов, сертификатов X.509, пар имя/пароль, утверждений SAML и лицензий XRML. Маркеры безопасности могут быть затем пересланы в заголовках WS-Security запросов SOAP с использованием профайла маркеров WS-Security. WS-Trust обеспечивает возможность передавать сообщения безопасности сервисам через неоднородную среду.

Источник запроса WEB-услуги взаимодействует с STS (служба маркеров), которая формирует утверждение SAML, которое характеризует идентичность пользователя. Источник запроса помещает утверждение SAML в WSS-заголовок каждого SAML-запроса. STS становится агрегатором и арбитром безопасности. Провайдер WEB-услуг должен доверять STS, которая сформировала утверждение SAML. В противном случае провайдер может использовать STS, чтобы проверить утверждение SAML самостоятельно. Утверждение SAML содержит данные, которые позволяют сервис провайдеру принять правильные решения в отношении аутентификации и авторизации.

Сервис доступа к данным обеспечивает следующие основные функции централизованного доступа к распределенным информационным ресурсам:

- обеспечение сервис-ориентированного интерфейса для доступа к БД;
- обеспечение доступа к данным как для локального, так и для удаленного или распределенного по сети варианта вычислительной системы;
- возможность использования различных протоколов для доступа к данным;
- возможность регистрации всех действий и событий, которые инициируют пользователи сервиса в специализированной серверной БД;
- возможность проводить аудит и мониторинг действий пользователей БД.

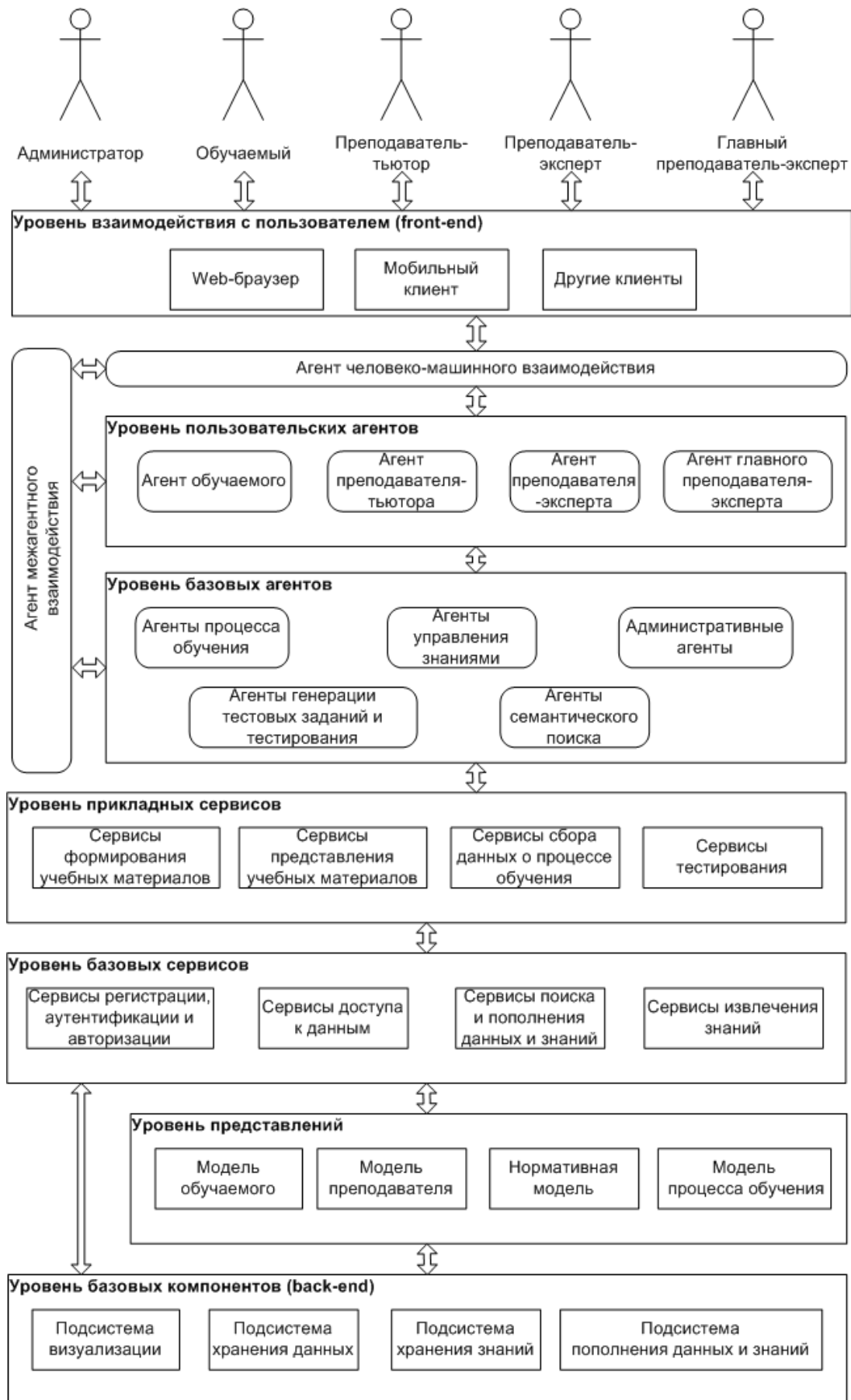


Рис. 2. Обобщенная архитектура ИАОУК.

Функция сервиса извлечения знаний состоит в сравнении, анализе и синтезе информации из разрозненных фактов, размещенных в текстах. Технология извлечения знаний позволяет автоматически просматривать относительно большой объем текстов. Обнаруженная в тексте информация преобразуется в структурированный формат: выявляются целевые факты, объекты, отношения в виде, пригодном для дальнейшей автоматической обработки (статистической обработки, визуализации, поиска закономерностей в данных и др.).

Сервисы поиска включают в себя функции полнотекстового информационного поиска и поиска по сходству (с целью контроля плагиата).

Прикладные сервисы архитектуры ИАОУК включают: сервис формирования учебных материалов; сервис представления учебных материалов; сервис сбора данных о процессе обучения; сервис генерации тестовых заданий и тестирования.

#### **4. Экспериментальная реализация интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса**

Обобщенная структура разработанного прототипа ИАОУК показана на рис. 3.

Ядром ИАОУК является система дистанционного обучения Moodle, дополненная рядом новых возможностей. Ядро тесно связано со следующими подсистемами:

- база данных MS Active Directory позволяет студентам использовать одно и то же имя учетной записи («логин») как для входа в операционную систему на рабочих станциях, так и для работы с ИАОУК через браузер (в том числе удаленно);
- система генерации тестов позволяет в автоматическом режиме создавать новые тесты на основе правил, заданных в виде формальных грамматик;
- система поиска и управления знаниями позволяет: выполнять эффективный поиск по материалам ИАОУК; производить автоматическое извлечение знаний из указанного набора электронных ресурсов глобальной сети;
- система агентов включает ряд программных агентов (агент обучаемого, преподавателя, процесса обучения и др.), реализующих алгоритмы работы комплекса;
- архив задач с автоматической проверкой решений содержит в настоящее время более 1000 задач по программированию и информационным технологиям и позволяет студентам проверять их решения (программный код) в автоматическом режиме.

Прототип ИАОУК обеспечивает эффективное хранение и доступ к базам знаний и данных по предметной области конкретной дисциплины на объемах до 10 Гбайт, обеспечивает время поиска плагиата по решениям программных задач на базе в 1000 задач не более 1 сек. и точность классификации учебных задач по степени их сложности в 84%. При формировании компьютерных тестов по дисциплинам методом поиска по текстам учебных пособий обеспечивает до 40% пригодных заданий и 22,8% условно пригодных заданий. Время обработки одного учебного пособия (объемом до 10 Мбайт) составляет от 20 до 70 сек., что вполне приемлемо для использования в функциональных задачах синтеза тестов в ИАОУК.

Разработано более 300 различных грамматик для использования в ИАОУК по дисциплинам всех циклов технического вуза: математический и естественно-научный цикл («Математика», «Физика», «Электротехника»), гуманитарный, социальный и экономический цикл («Русский язык»), профессиональный цикл («Метрология, стандартизация, сертификация», «Оборудование автоматизированных производств», «Интеллектуальные информационные системы», «Представление знаний в информационных системах», «Теория языков программирования и методы трансляции», «Системное программное

обеспечение», «Технология разработки программного обеспечения»). Надежность и валидность тестов, сгенерированных разработанными методами проверялась на более чем 30 тестах при объеме выборки испытуемых от 20 до 300 человек и лежит в диапазоне от 0,66 до 0,83.



Рис. 3. Обобщенная структура ИАОУК.

## Список литературы

1. Роберт И.В. Теория и методика информатизации образования (психолого-педагогический и технологический аспекты). М.: ИИО РАО, 2007. 144 с.
2. Швецов А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы», 2008. 101 с. <http://window.edu.ru/window/library?p rid=56179>
3. Швецов А.Н. Метаметодология построения мультиагентных интеллектуальных систем // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2010. № 1. С. 28-33.
4. Мельчук И.А. Русский язык в модели «Смысл–Текст»: Школа «Языки русской культуры». М.: Вена, 1995. 682 с.
5. Осипов Г. С. Приобретение знаний интеллектуальными системами: Основы теории и технологии. М.: Наука; Физматлит, 1997. 112 с.
6. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Метатехнология системных реконструкций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. 336 с.
7. Швецов А.Н., Яковлев С.А. Распределенные интеллектуальные информационные системы. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003. 318 с.
8. Маслов С. Ю. Теория дедуктивных систем и ее применения. М.: Радио и связь, 1986. 136 с.
9. Швецов А.Н. Агентно-ориентированные системы: основные модели: монография. Вологда: ВоГТУ, 2012. 190 с.
10. Суконщиков А.А., Крюкова Д.Ю. Системы поддержки принятия решений на базе аппарата сетей Петри // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2008. № 3. С. 45-49.
11. Сорокин А.Н. Моделирование и анализ распределенных сервис-ориентированных систем с применением аппарата высокоуровневых сетей Петри / Информационные технологии моделирования и управления. 2006. №4 (29). С. 495-503.