

Интеллектуальная технология построения обучающих интегрированных экспертных систем: новые возможности¹

Основная цель данной работы — ознакомить читателей журнала «Открытое образование» с накопленным опытом создания и практического использования в учебном процессе кафедры «Кибернетика» НИЯУ МИФИ особого класса интеллектуальных обучающих систем, построенных на базе архитектур обучающих интегрированных экспертных систем, разработка которых осуществляется на основе авторской задачно-ориентированной методологии и интеллектуальной программной среды инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обеспечивающих автоматизированную поддержку всех этапов жизненного цикла построения и сопровождения систем этого типа.

В контексте базовых моделей, методов, алгоритмов и средств, реализующих концептуальные основы задачно-ориентированной методологии, и которые эволюционно развиваются и экспериментально исследуются в процессе построения различных архитектур обучающих интегрированных экспертных систем, в том числе веб-ориентированных, рассматриваются некоторые особенности обобщенной модели интеллектуального обучения и её компонентов (в частности, компетентностно-ориентированная модель обучаемого, адаптивная модель обучения, модель онтологии курса/дисциплины и др.), а также методы и способы их реализации в текущих версиях обучающих интегрированных экспертных систем. Для обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии» описываются примеры реализации типовых задач интеллектуального обучения (индивидуальное планирование методики изучения учебного курса, интеллектуальный анализ учебных задач, интеллектуальная

поддержка принятия решений) в текущих версиях обучающих интегрированных экспертных систем.

Дается краткое описание концептуальных основ модели интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и приводится описание некоторых компонентов модели с акцентом на базовые компоненты — интеллектуальный планировщик, типовые проектные процедуры и повторно-используемые компоненты, на основе которых обеспечивается автоматизированная поддержка процессов прототипирования обучающих интегрированных экспертных систем. Приводится краткая характеристика моделей и подходов, используемых при формализации процессов планирования и управления прототипированием.

Описываются схемы выполнения типовой проектной процедуры «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» в различных режимах функционирования, а также анализируется технология использования повторно-используемых компонентов при создании обучающих интегрированных экспертных систем. Приводятся количественные оценки различных компонентов/параметров обучающих интегрированных экспертных систем и анализируются дальнейшие перспективы их применения.

Ключевые слова: задачно-ориентированная методология, комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обучающие интегрированные экспертные системы, интеллектуальное обучение, модель обучаемого, модель обучения, модель прикладной онтологии, интеллектуальная программная среда, типовая проектная процедура.

Galina V. Rybina

National Research Nuclear University «MEPhI», Moscow, Russia

Intelligent technology for construction of tutoring integrated expert systems: new aspects

The main aim of this paper is to acquaint readers of the journal «Open Education» with the accumulated experience of construction and practical use in the educational process of Cybernetics Department of the National Research Nuclear University MEPhI of a special class of intelligent tutoring systems, based on the architectures of tutoring integrated expert systems. The development is carried out on the problem-oriented methodology basis and intelligent software environment of AT-TECHNOLOGY workbench. They provide automation of support of all the stages of construction and maintenance of the life cycle of such systems. In the context of basic models, methods, algorithms and tools that implement the conceptual foundations of a problem-oriented methodology, and which are evolutionarily developed and experimentally investigated in the process of constructing various architectures of training integrated expert systems, including web-based ones, some features of the generalized model of intellectual learning and its components are considered (in particular, the competence-based model of the trainee, the adaptive tutoring model, the ontology model of the course /discipline et al.) as well as methods and means of their realization in the current versions of tutoring integrated expert systems.

In current versions of tutoring integrated expert systems examples of implementation of typical intelligent tutoring problems are described for the generalized ontology «Intelligent systems and

technologies» (individual planning of the method of studying the training course, intelligent analysis of training tasks, intelligent support for decision making).

A brief description of the conceptual foundations of the model of the intelligent software environment of the AT-TECHNOLOGY workbench is given and a description of some components of the model is presented with a focus on the basic components — intelligent planner, standard design procedures and reusable components, which provide automated support for the prototyping processes of tutoring integrated expert systems. A brief description of the models and approaches, used in the formalization of the planning and management processes of prototyping is presented. Schemes for the implementation of the standard design procedure «Construction of training IES and web-IES» in different modes of operation are described, as well as the technology of using reusable components for the development of tutoring integrated expert systems. Quantitative estimations of various components/parameters of tutoring integrated expert systems are given and further prospects for their application are analyzed.

Keywords: problem-oriented methodology, AT-TECHNOLOGY workbench, tutoring integrated expert systems, intelligent tutoring, student model, tutoring model, applied ontologies model, intelligent software environment, standard design procedure.

¹Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-01-04696)

Введение

Данная работа продолжает серию статей по теории и технологии построения интегрированных экспертных систем (ИЭС) различной архитектурной типологии на основе авторской задачно-ориентированной методологии [1] и интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обеспечивающих в совокупности автоматизированную поддержку процессов разработки и сопровождения широкого класса статических и динамических ИЭС, в том числе обучающих ИЭС и обучающих веб-ориентированных ИЭС (веб-ИЭС) [1–3]. Основные положения задачно-ориентированной методологии и описание функциональных возможностей различных версий базового инструментария типа workbench – комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ изложены в нескольких монографиях автора, в частности [1, 2], а также в многочисленных работах, опубликованных в журналах «Искусственный интеллект и принятие решений», «Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика», «Информационно-измерительные и управляющие системы» (2008–2017 гг.), а также в трудах национальных конференций по искусственному интеллекту (КИИ) и зарубежных изданиях.

Достаточно широко в печати разных лет освещалась и проблематика, связанная с применением задачно-ориентированной методологии и средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для целей *интеллектуального обучения* путем разработки интеллектуальных обучающих систем (ИОС), созданных на базе архитектур, обучающих ИЭС и веб-ИЭС, например, [3–5] и др.

Важно отметить, что возможность эффективной практической реализации подобного подхода к построению ИОС обеспечивалась прежде всего за счет:

- активного развития концептуальных основ задачно-ориентированной методологии, позволяющей на базе *масштабируемой* архитектуры ИЭС [1, 2] реализовать достаточно мощную функциональность, необходимую для современных ИОС (построение развитых моделей обучаемых, адаптивных моделей обучения, моделей проблемных областей, моделей объяснения, моделей преподавателя, моделей прикладных онтологий курсов/дисциплин/специальностей и др.);

- использования для автоматизированной поддержки процессов построения ИЭС на всех этапах жизненного цикла платформенно-независимой интеллектуальной программной технологии (на основе средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) [1, 2, 6], обеспечивающей архивацию уникального экспертно-методического опыта преподавателей-предметников, снижение интеллектуальной нагрузки на инженеров по знаниям (аналитиков знаний), сокращение сроков разработки обучающих ИЭС и веб-ИЭС.

Обучающие ИЭС и веб-ИЭС, разработанные в лаборатории «Интеллектуальные системы и технологии» кафедры «Кибернетика» НИЯУ МИФИ, активно применяются с 2008 г. для автоматизированной поддержки базовых дисциплин по направлениям подготовки «Прикладная математика и информатика» и «Программная инженерия», в том числе: «Введение в интеллектуальные системы», «Интеллектуальные диалоговые системы», «Динамические интеллектуальные системы», «Проектирование кибернетических систем, основанных на знаниях», «Современные архитектуры интеллектуальных систем», «Интеллектуальные информационные системы». Для всех этих курсов/дисциплин с помощью базовых средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ реализованы и ди-

намически поддерживаются соответствующие *прикладные онтологии*, в совокупности образующие *обобщённую онтологию* «Интеллектуальные системы и технологии». Накоплен значительный методологический и технологический опыт автоматизированного ведения значительного числа индивидуальных моделей обучаемых по вышеперечисленным дисциплинам (более 2500 моделей) и соответствующих моделей обучения, анализ которых позволяет использовать и развивать современные новации в задачах интеллектуального обучения на основе обучающих ИЭС и веб-ИЭС.

Следует отметить, что в контексте обобщённой онтологии «Интеллектуальные системы и технологии» и создания единого *онтологического пространства знаний и умений* в настоящее время удалось реализовать, практически, полный набор функциональных задач, характерных для интеллектуальной технологии обучения, в том числе:

«...индивидуальное планирование методик изучения конкретного учебного курса (конкретизация на базе онтологий курсов/дисциплин персональной траектории/ стратегии обучения, индивидуальный контроль и выявление «проблемных зон» в знаниях и умениях обучаемых, оптимизация индивидуального обучения с учётом психологического портрета обучаемого и др.); *интеллектуальный анализ* решений учебных задач (моделирование рассуждений студентов, решающих учебные задачи различного типа, в том числе с использованием неформализованных методик, выявление типов ошибок и причин их проявлений в знаниях и умениях вместо их констатации, обратная связь через динамическое обновление знаний и умений обучаемых, прогноз оценок на экзаменах и др.); *интеллектуальная поддержка принятия решений* (использо-

вание технологии традиционных экспертных систем (ЭС) и ИЭС для интеллектуальной помощи на каждом этапе решения учебных задач, включая расширенные объяснения типа «как?» и «почему?», выбор вариантов решений, подсказку следующего этапа решения и т.д.)...» [2].

Перечисленные возможности обучающих ИЭС и веб-ИЭС в полной мере соответствуют функционально-технологическим аспектам современных зарубежных ИОС, в частности [7–9], и адаптивных обучающих систем [10], а также создают предпосылки для дальнейших исследований по реализации перспективных подходов в виде *интеллектуального мониторинга и интеллектуального коллективного обучения*, а также для *семантической интеграции* отдельных обучающих ИЭС при их параллельном использовании в учебном процессе.

В современных условиях осуществление эффективной практической реализации и дальнейшее функционирование ИОС любой архитектурной сложности невозможны без инструментальной программной поддержки процессов проектирования и сопровождения ИОС на всех этапах жизненного цикла. Однако в настоящее время не существует принятой в качестве стандарта технологии разработки интеллектуальных систем, в том числе ИОС, поэтому для этих целей, как правило, используются инструментальные средства и платформы общего назначения.

Например, концепция и общая архитектура интернет-комплекса IACPaaS (Intelligent Application, Control and Platform as a Service) [11] ориентирована на поддержку единых технологических принципов разработки и использования прикладных и инструментальных интеллектуальных систем, и управления ими. Созданная на основе этого

проекта облачная платформа IACPaaS [12] предназначена для обеспечения поддержки разработки, управления и удаленного использования прикладных и инструментальных мультиагентных облачных сервисов и их компонентов для различных предметных областей. Платформа IACPaaS является примером облачной платформы для реализации программ, обрабатывающих информацию в виде иерархических однородных семантических сетей, в частности, на её основе была реализована интеллектуальная обучающая среда для диагностики острых хронических заболеваний [13].

Описывается опыт использования в образовательной сфере технологии OSTIS (Open Semantic Tehcnology for Intelligent Systems) [14], представляющей собой технологию компонентного (модульного) и платформенно-независимого проектирования совместимых интеллектуальных систем (OSTIS-систем), имеющих сложно-структурированные базы знаний и реализующих параллельные модели обработки знаний.

С другой стороны, в целом ряде зарубежных исследований наблюдается тенденция создания проблемно/предметно-ориентированных инструментариев и технологий для разработки интеллектуальных систем различных классов, например, [15, 16]. Интересные проекты и подходы представлены также в отечественных работах [17, 18] и др.

Для инструментальной поддержки задачно-ориентированной методологии построения ИЭС был создан «...новый теоретический базис и на его основе интеллектуальная программная технология автоматизированного построения ИЭС (в том числе обучающих ИЭС и веб-ИЭС), объединяющая подходы инженерии знаний, онтологического инжиниринга, интеллектуального планирования и традиционно-

го программирования, в рамках которых были предложены, теоретически обоснованы и экспериментально исследованы оригинальные модели, методы и алгоритмы для *интеллектуализации базовых процессов прототипирования* прикладных ИЭС...» [1, 2].

Новой концептуальной основой данного подхода является введённое автором понятие «*модели интеллектуальной среды*» [1] (некоторые аспекты, связанные с описанием и реализацией отдельных компонентов этой модели, рассматриваются в разделе 2, а детально данные вопросы обсуждаются в [1, 2, 6, 19, 20] и др. работах).

В центре внимания данной работы находятся результаты экспериментальных исследований, направленных на дальнейшее развитие методов интеллектуальной технологии автоматизированного построения ИОС на основе архитектур обучающих ИЭС и веб-ИЭС.

1. Краткая характеристика обобщённой модели интеллектуального обучения и способов реализации типовых задач интеллектуального обучения

Как неоднократно отмечалось автором, «...задача *обучения* является наиболее сложной и наименее формализованной из всех рассматриваемых в рамках задачно-ориентированной методологии *эвристических моделей решения типовых задач*, что связано, в основном, со слабой разработкой педагогических и психологических теорий получения знаний, формирования понятий, построения умозаключений и др. проблемами...» [1, 2]. Однако, с точки зрения построения некоторой *обобщенной модели задачи интеллектуального обучения* [2], данная неформализованная задача (НФ-задача) может быть легко декомпозирована на упорядоченную последовательность из таких

НФ-задач, как *диагностика, интерпретация, планирование и проектирование*, что позволяет рассматривать все процессы *прототипирования* обучающих ИЭС в рамках единой технологии построения архитектур обучающих ИЭС на всех уровнях интеграции [1], концептуально связав построение *модели обучаемого* (диагностика), *модели обучения* (планирование, проектирование), *модели объяснений* (интерпретация) и др. с инженерией знаний и онтологическим инжинирингом [21].

Поэтому технология разработки архитектуры обучающих ИЭС и веб-ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии традиционно включает реализацию таких базовых компонентов, как [1, 2]: компетентностно-ориентированная модель обучаемого (M1), адаптивная модель обучения (M2), расширенная модель объяснений (M3), модель онтологии курса/дисциплины (Me/Mo). Характерно, что модель проблемной области (ПрО) и методы ее построения, рассматривается в данном случае исключительно в рамках технологии разработки традиционной ЭС либо ИЭС. Возможным расширением модели задачи обучения является опциональное включение модели учителя (в зависимости от специфики реализации и использования модели Me/Mo).

Рассмотрим особенности методов и подходов к реализации некоторых из перечисленных моделей, наиболее важных в контексте данной работы, и которые в текущих версиях ИЭС и веб-ИЭС являются базовыми компонентами для задач интеллектуального обучения, а именно: индивидуальное планирование методики изучения учебных курсов/дисциплин, интеллектуальный анализ решений учебных задач и интеллектуальная поддержка принятия решений. Детальное описание проводится в [2–5] и др. работах.

1.1. Особенности реализации модели обучаемого (M1)

К настоящему времени хорошо апробирована в учебном процессе достаточно гибкая форма модели обучаемого (M1) – *оверлейная (перекрывающая) сетевая модель*, «...представляющая собой граф, узлам которого соответствуют *знания* и/или *умения*, а дугам – отношения между ними (каждому узлу и дуге сопоставляется некоторая величина или набор величин, характеризующих степень владения обучаемым данным *знанием* или *умением*, причем допускается наследование величин)...» [1]. Следует отметить, что «...под термином «знания», в соответствии с О.И. Ларичевым, понимается теоретическая подготовленность обучаемого (*декларативные знания*), а под термином «умения» – умения/навыки применять теорию при решении практических задач (*процедурные знания*)...» [1].

На концептуальном уровне модель M1 представляет собой следующую совокупность сведений [1, 2]: учетную информацию об обучаемом (фамилия обучаемого, номер учебной группы, дата контрольного мероприятия и др.); психологический портрет обучаемого в виде совокупности личностных характеристик; текущий и заключительный уровни знаний и умений обучаемого; информация о текущей и целевой компетенциях обучаемого; сведения о методах и/или алгоритмах выявления уровней знаний и умений обучаемого и используемых алгоритмах психологического тестирования, на основании которых формируется психологический портрет обучаемого. Концептуально-методологические аспекты, связанные с построением всех компонентов модели M1, детально описаны в [1, 2–5] и др. работах, поэтому здесь в фокусе внимания находятся только технологические аспекты формирования онтологического пространства знаний и умений

обучаемых, являющегося объединяющей основой для задач интеллектуального обучения.

Реализация процессов выявления *знаний* осуществляются, как правило, при проведении контрольных мероприятий в режиме RunTime (режим обучаемых) путём динамического формирования текущей компетентностно-ориентированной модели обучаемого, которая строится на основе анализа ответов на вопросы из специальных веб-тестов и последующего сравнения с фрагментами прикладной онтологии курса/дисциплины. Генерация вариантов тестовых заданий производится перед началом веб-тестирования в режиме DesignTime (режим преподавателя) путём применения *генетического алгоритма* к конкретной онтологии курса/дисциплины или к её фрагменту [2].

Опыт показал, что технологически выбранный подход к веб-тестированию оказался достаточно универсальным и гибким, поскольку позволяет осуществлять генерацию тестовых заданий, удовлетворяющих любым критериям, поскольку программная реализация алгоритма отделена и никак не связана с выбранной целевой функцией. Поэтому преподаватель (в режиме DesignTime) не ограничен в выборе критериев, т.е. может использовать как простые статистические меры (математическое ожидание и дисперсия сложности вопросов), так и более сложные (близость распределения сложности к заданному). Метод также не зависит от *модели онтологии* и сохраняет свою работоспособность при введении любых новых параметров (изменение сложности вопроса, учет результата ответов других студентов на этот вопрос и т.д.)

В качестве дополнительного комментария можно добавить, что в настоящее время при генерации вариантов тестовых заданий на основе генетичес-

кого алгоритма поддерживаются следующие методические требования: полученные варианты веб-тестов должны *покрывать* заданный фрагмент онтологии курса/дисциплины, причем в каждом из них не может быть одинаковых вопросов; количество вопросов должно быть одинаковым, а совокупный *уровень сложности* каждого варианта – примерно равным; так называемые «кустовые вопросы» не могут находиться в одном варианте. Что касается методики оценивания знаний, то она базируется на вычислении результирующей оценки за полный тест (детально описана в [1, 2]).

При построении текущей модели обучаемого производится сравнение результатов веб-тестирования с соответствующим фрагментом онтологии курса/дисциплины, в результате чего выявляются так называемые «...*проблемные зоны* в знаниях обучаемого по отдельным разделам и темам курса/дисциплины и текущие компетенции...» [1, 2], отражая состояние модели обучаемого с точки зрения не только выявления уровня *знаний* обучаемых и построении компетентностно-ориентированных моделей обучаемых, но и обеспечивая концептуальную и технологическую связь с процессами компьютерного выявления *умений* обучаемых решать некоторые типы учебных задач.

Следует отметить, что в обучающих ИЭС и веб-ИЭС, функционирующих на основе обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии», одно из важных мест занимают методы выявления *умений* обучаемого решать учебные НФ-задачи, связанные с моделированием рассуждений, где требуются в основном подходы, использующие методы и средства ЭС и ИЭС, интеллектуальных, диалоговых систем и др. классов интеллектуальных систем [2, 4, 5].

Например, преподавание специальных курсов/дисциплин по направлениям подготовки «Прикладная математика и информатика» и «Программная инженерия» («Введение в интеллектуальные системы», «Экспертные системы», «Интеллектуальные информационные системы», «Интеллектуальные диалоговые системы» и др.) сегодня невозможно без привития навыков и умений обучаемых решать такие практические задачи, как «... умение строить по принципу «сам себе эксперт» моделей простейших ситуаций ПрО на основе фреймов и семантических сетей, моделирование стратегий прямого/обратного вывода в ЭС, построение компонентов лингвистической модели заданных подязыков и другие...» [2]. Перечисленные выше учебные задачи базируются на неформализованных экспертных методиках, опыт реализации которых накоплен в технологиях разработки ЭС и ИЭС, а также, в инженерии знаний и онтологическом инжиниринге [2, 21, 22].

Поэтому, в контексте построения обучающих ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии были созданы и апробированы на практике в учебном процессе НИЯУ МИФИ и других вузов специальные программные средства, реализующие оригинальные «ручные» методики решения различных НФ-задач, в частности, описанные в учебниках и монографиях автора («Основы построения интеллектуальных систем», «Интеллектуальные системы от А до Я: серия монографий в 3х книгах» и др.). Следует отметить, что все эти программные средства в соответствии с концепцией «интеллектуальной программной среды» [1] оформлены как *повторно-используемые компоненты*, используемые для реализации типовой проектной процедуры «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» (рассматриваются далее в разделе 2).

1.2. Особенности реализации модели обучения (М2)

В состав другой базовой модели – адаптивной модели обучения (М2) входят знания о планировании и организации (проектировании) процесса обучения, а также общих и частных методиках обучения, соответствующих индивидуальным моделям обучаемых.

Модель М2 включает «... совокупность моделей М1, совокупность стратегий (планов) обучения и обучающих воздействий, функцию выбора и/или генерации стратегий обучения в зависимости от входной модели М1, причем управление обучением осуществляется на основе некоторого плана (стратегии), состоящего из определенной последовательности *обучающих воздействий...*» [1, 2]. В настоящее время наиболее востребованными обучающими воздействиями являются: фрагменты гипертекстовых (ГТ) электронных учебников (в частности, по курсу «Введение в интеллектуальные системы»), а также совокупность учебно-тренировочных задач (УТЗ), созданных на основе [23]. Кроме того, важной особенностью реализации архитектуры ИОС на основе обучающих ИЭС и веб-ИЭС является применение обучающих воздействий нового типа – «Тренинг с ЭС» либо «Тренинг с ИЭС», суть которых заключается в использовании некоторой прикладной ЭС или ИЭС в качестве *тренажера* для изучения различных методик решения конкретных НФ-задач в различных ПрО [1]. Разработка подобных обучающих воздействий, представляющих собой полноценную задачу из области инженерии знаний, осуществляется на основе базовых требований задачно-ориентированной методологии построения прикладных ИЭС и использования средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ,

автоматизирующих все этапы жизненного цикла прототипирования ИЭС (детально рассматриваются в [1, 2]).

Методика *индивидуального планирования* изучения конкретного курса/дисциплины реализуется за счет генерации для каждого обучаемого определенных стратегий (планов) обучения, характеризующихся «...своим набором и порядком применения обучающих воздействий, содержание которых определяется степенью конкретизации поставленной задачи, зависящей от уровня знаний и умений обучаемого, т.е. от модели М1...» [1, 2].

Генерация индивидуальной стратегии обучения происходит динамически в результате сравнения содержания текущей модели обучаемого М1 с прикладной онтологией курса/дисциплины, построенной на основе модели Ме/Мо, в результате чего из множества обучающих воздействий формируется некоторое подмножество воздействий, применение которых необходимо, в частности, для успешного преодоления *проблемных зон* в знаниях и умениях обучаемого. Затем для формирования индивидуальной *траектории* применения конкретных обучающих воздействий производится анализ психологического портрета обучаемого, с целью наиболее эффективного учета индивидуальных личностных особенностей обучаемого на всех этапах обучения.

Таким образом, существенная роль в технологиях построения М1 и М2 (режимы RunTime, DesignTime) в настоящее время принадлежит прикладным онтологиям конкретных курсов/дисциплин, выполняющим важнейшую интеграционную функцию в обучающих ИЭС и веб-ИЭС, обеспечивая эффективность использования накопленного арсенала методических и программных средств.

1.3. Особенности реализации онтологического подхода для организации интеллектуального обучения на основе использования обучающих интегрированных экспертных систем

Важной особенностью нового поколения обучающих ИЭС, разработанных на основе авторской задачно-ориентированной методологии и современных средств интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [1,2], является возможность гибкого перехода к формированию *прикладных онтологий* курсов/дисциплин на базе использования уже построенных ранее иерархических структур соответствующих курсов/дисциплин, отражающих некоторый *эталонный уровень* знаний преподавателя (эталонная модель Ме [1]). Как показано в [2], использование терминов «эталонная модель курса/дисциплины» (Ме) и «модель онтологии» (Мо), является синонимичным, поскольку построенная с помощью специальных процедур и инструментальных программных средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ иерархическая структура курса/дисциплины представляет собой достаточно типичную прикладную онтологию, а модель Мо в виде семантической сети эквивалентна базовой модели Ме (поэтому используется общее обозначение Ме/Мо).

Поскольку прикладные онтологии выполняют важную интеграционную роль для организации интеллектуального обучения, то ниже приводится детальное описание модели онтологии курса/дисциплины (Ме / Мо).

1.3.1. Базовая модель онтологии курса/дисциплины

Модель прикладной онтологии курса/дисциплины (Ме/Мо), представляющая собой семантическую сеть, описывается в виде «... $M_e = \langle V_e, U_e, C, K_e, RK, I_e, Se \rangle$, где V_e –

множество элементов курса/дисциплины (разделов, тем, подтем и т.д.), которые представляются как $V_e = \{v_1, \dots, v_n\}$, n – количество элементов курса/дисциплины, причем каждый элемент v_i представляет собой тройку $v_i = \langle T_i, W_i, Q_i \rangle$, $i = 1, \dots, n$, где T_i – название элемента структуры курса/дисциплины, $W_i = [0..10]$ – вес вершины v_i , Q_i – множество вопросов, представимое в виде $Q_i = \{ \langle F_{ij}, S_{ij}, I_{ij} \rangle \}$, $j = 1..q$, где F_{ij} – формулировка вопроса, $S_{ij} = \{s_{ij1}, \dots, s_{ijr}\}$ – множество ответов, I_{ij} – идентификатор правильного ответа; $U_e = \{u_j\} = \{ \langle V_{kj}, V_j, R_j \rangle \}$, $j = 1, \dots, m$ – множество связей между элементами курса/дисциплины, где V_{kj} – родительская вершина, V_j – дочерняя вершина, R_j – тип связи, причем $R = \{R_z\}$, где $z = 1, \dots, Z$, R_1 – связь типа «часть-целое» (агрегация), означает, что дочерняя вершина является частью родительской вершины; R_2 – связь типа «ассоциация», означает, что для владения понятием родительской вершины необходимо владеть понятием дочерней вершины; R_3 – «слабая» связь, означает, что для владения понятием родительской вершины владение понятием дочерней вершины желательно, но не является необходимым; $C = \{C_i\}$, $i = 1, \dots, a$ – множество иерархических связей между элементами курса/дисциплины, при этом $C_i = \langle V_k, V_l \rangle$, где V_k – родительский элемент, V_l – дочерний элемент в иерархической структуре курса/дисциплины (например, V_k – раздел, а V_l – тема, данного раздела); $K_e = \langle K, CK \rangle$ – модель целевых компетенций, где $K = \{K_i\}$, $i = 1, \dots, b$ – множество целевых компетенций, причем $K_i = \langle NC_i, S_i \rangle$, где NC_i – название, а S_i – код компетенции K_i , а $CK = \{CK_i\}$, $i = 1, \dots, c$ – множество иерархических связей между компетенциями, при этом $CK_i = \langle K_{ki}, K_{li} \rangle$, где K_{ki} – компетенция-родитель из совокупности K , а K_{li} – дочерняя компетенция

ция из совокупности K , $k = 1, \dots, d$, $l = 1, \dots, e$; $RK = \{RK_{ij}\}$, $RK_m = \langle V_{ki}, K_{lj}, W_{cij} \rangle$ $m = 1, \dots, f$ – множество связей элементов курса/дисциплины и компетенций, где V_{ki} – элемент множества V_e , K_{lj} – элемент множества K_e , W_{cij} – весовой коэффициент компетенции K_{lj} соответствующий элементу курса/дисциплины V_{ki} » [2,5].

Особого внимания заслуживают два новых компонента, реализованных в настоящее время – это Ie (совокупность моделей обучающихся воздействий) и Se (совокупность моделей выявления навыков/умений обучаемых).

В качестве комментария следует отметить, что за последние годы удалось создать и экспериментально исследовать несколько оригинальных методов и средств выявления и оценивания *умений* обучаемых решать практические НФ-задачи в рамках конкретных курсов/дисциплин [2]. Поэтому были разработаны специальные алгоритмы и программные средства для интеграции элементов онтологий курсов/дисциплин с множеством *повторно-используемых компонентов (ПИК)* [1, 2], реализующих процессы выявления умений обучаемых решать учебные НФ-задачи. Кроме того, значительное расширение прикладных онтологий было связано с реализацией интеграции элементов онтологий с накопленным арсеналом УТЗ и фрагментами ГТ-учебников (оформленных как операционные и информационные ПИК).

Поэтому в состав компонента Ie опционально входят: модели УТЗ в соответствии с [1,2] (в настоящее время поддерживается 7–10 типов УТЗ); множество связей между элементами прикладной онтологии курса/дисциплины и подмножеством УТЗ; модель ГТ-учебника в соответствии с [1,2] (поддерживается HTML-модель ГТ и XML-модель ГТ); множество связей между элементами онтологии

и подмножеством разделов ГТ-учебника.

Соответственно, в состав компонента Se входят: модель процесса выявления умений обучаемых моделировать стратегии прямого/обратного вывода (используется понятие продукционной системы [2]); модель процесса выявления умений обучаемых моделировать простейшие ситуации Про с помощью фреймов (используется диалект классического языка представления знаний FRL [2]); модель процесса выявления умений обучаемых моделировать ситуации Про с помощью семантических сетей (на основе использования специальных процедур и эталонных фрагментов семантических сетей); множество соответствующих связей между элементами онтологий курсов/дисциплин и компонентами перечисленных моделей.

Технологически все процессы построения онтологий обеспечиваются инструментальными средствами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, включающими специальные средства построения онтологий курсов/дисциплин, средства построения обобщенной онтологии и компонент визуализации (функциональность данных инструментов рассматривается в [2] и др. работах).

1.3.2. Особенности реализации базовых задач интеллектуального обучения

Поскольку методы и программные средства реализации базовых задач интеллектуального обучения путём использования обучающихся ИЭС и веб-ИЭС в учебном процессе НИЯУ МИФИ, неоднократно описывались в публикациях последних лет, например [2–5] и др., то приведем здесь кратко некоторые обобщенные результаты.

Задача «Индивидуальное планирование методики изучения учебного курса». В контексте онтологического подхода построение индивидуальных моделей обучения (М2) по конкретно-

му курсу/дисциплине для каждого студента (т.е. управление обучением) осуществляется в настоящее время на основе *автоматической генерации* конкретных планов (стратегий), причем каждая стратегия обучения включает определенную последовательность обучающих воздействий, в качестве которых используются:

- чтение заданных разделов ГТ-учебника (разработанного на основе авторского учебника «Основы построения интеллектуальных систем»)

- решение нескольких типов УТЗ различной сложности, методика реализации которых описана в [23] например, «Ввод численного значения для интервала», «Анализ графического изображения», «Формирование ответа путем выбора его составляющих из предложенного перечня», «Маркировка и корректировка текста», «Заполнение пропусков в тексте», «Расстановка соответствий между блоками», «Ввод ответа на открытый вопрос» и др.;

- выполнение обучающих воздействий «Тренинг с ЭС/ИЭС» на базе использования нескольких демонстративных прототипов ИЭС диагностического типа, разработанных на основе экспертного опыта автора и его учеников (включая объяснение полученных результатов, подсказки, локализацию ошибочных действий, контроль правильности решений и др.)

Здесь важно, что *индивидуальная* стратегия обучения характеризуется конкретным набором и порядком применения учебных воздействий, содержание которых определяется степенью детализации поставленной задачи, зависящей от уровня знаний/умений обучаемого и его психологического портрета.

Задача «Интеллектуальный анализ решений учебных задач». Для выявления навыков/умений обучаемых решать учебные НФ-задачи (на базе прикладных онтологий, пред-

ставленных в обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии»), в настоящее время реализовано моделирование и оценивание рассуждений студентов, решающих следующие типы учебных НФ-задач:

- моделирование стратегий прямого/обратного вывода в ЭС и моделирование простейших ситуаций Про с использованием фреймов и семантических сетей (обучающие веб-ИЭС по курсам «Введение в интеллектуальные системы», «Интеллектуальные информационные системы»);

- построение компонентов лингвистической модели подязыка деловой прозы (обучающая веб-ИЭС по курсу «Интеллектуальные диалоговые системы»).

Детальное описание методов реализации и примеры функционирования специальных программных компонентов выявления умений обучаемых решать вышеперечисленные задачи приводятся в [2] и др. работах (например, опубликованных в журнале «Информационно-измерительные и управляющие системы» (2015–2016 гг.).

Задача «Интеллектуальная поддержка принятия решений». В [2–5] был проанализирован опыт применения технологий ИЭС и традиционных ЭС для целей обучения в виде использования специальных обучающих воздействий типа «Тренинг с ЭС/ИЭС». Показано, что в рамках разработки обучающих воздействий подобного типа для различных курсов/дисциплин, содержащих экспертный опыт решения НФ-задач в виде НФ-методик, наиболее актуальной является задача построения моделей Про (в том числе на основе знаний, содержащих отдельные виды НЕ-факторов знаний [1, 2]), а также эффективная реализация режима консультации с ЭС/ИЭС путем построения сценария диалога с обучаемым, в котором

существенное внимание уделяется объяснениям, подсказкам и/или проверке следующего этапа решения задачи и т.д.

Экспериментальное программное моделирование и исследование методов построения отдельных компонентов обучающих ИЭС на основе описанных выше моделей задачно-ориентированной методологии проводилось в интеллектуальной программной среде комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ в рамках реализации *типовой проектной процедуры* «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС». Детальному описанию модели интеллектуальной среды и ее компонентов посвящен целый ряд работ, например [1, 2, 6, 19, 20] и др., поэтому ниже приводятся только общие сведения о базовых компонентах интеллектуальной среды.

2. Общая характеристика компонентов модели интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

Основной целью задачно-ориентированной методологии и поддерживающего её инструментария – комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ является полнофункциональная автоматизация достаточно сложных и трудоёмких процессов *прототипирования* прикладных ИЭС различной архитектурной типологии на всех этапах жизненного цикла, начиная от системного анализа конкретной Про до создания серии прототипов ИЭС. Обеспечить достижение этой цели (полное или частичное) возможно только путем существенного снижения рисков ошибочных действий, временных затрат и т.п. для инженеров по знаниям (аналитиков знаний) за счёт архивации и использования экспертного и технологического опыта, накопленного на самых трудоёмких этапах проектирования и разработки статических и динамических ИЭС.

Поэтому *модель интеллектуальной программной среды* и методы её реализации, предложенные автором в конце 1990-х годов и эволюционно развиваемые в соответствии со сменой технологических парадигм различных версий комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, позволяют решать некоторые из вышеперечисленных проблем, в частности, снижение интеллектуальной нагрузки на инженеров по знаниям в процессе прототипирования прикладных ИЭС за счёт интеграции методов инженерии знаний и онтологического инжиниринга с интеллектуальным планированием и традиционным программированием.

Детальное описание основных концепций интеллектуальной технологии построения ИЭС, формальное описание модели интеллектуальной программной среды и опыта реализации её отдельных компонентов приводится в монографиях автора, например [1,2], а также в ряде работ [6,19,20] и др., поэтому рассмотрим кратко только те основные определения и понятия, которые наиболее важны для прототипирования обучающих ИЭС.

Модель интеллектуальной программной среды представляется в виде «... четверки $M_{AT} = \langle KB, K, P, TI \rangle$, где KB – технологическая база знаний (БЗ) о составе проекта и типовых проектных решениях, используемых при разработке ИЭС; K – множество текущих контекстов, состоящих из множества объектов из KB , редактируемых или выполняющихся на текущем шаге управления; P – интеллектуальный планировщик, управляющий процессами разработки и тестирования ИЭС; TI – множество инструментов, применяющихся на различных этапах жизненного цикла разработки ИЭС...» [1]. Опишем кратко наиболее важные с точки зрения данной работы компоненты.

Важной декларативной основой процесса интеллектуальной поддержки разработки ИЭС является компонент KB , выступающий в качестве информационного хранилища в данной среде и «...определяемый как $KB = \langle WKB, SKB, PKB \rangle$, где WKB – это БЗ, содержащая знания о типовых проектных процедурах (ТПП), описывающих последовательность и способы применения инструментальных средств, а также последовательности этапов создания ИЭС; SKB – это БЗ, включающая знания об использовании ТПП и повторно-используемых компонентов (ПИК), включая фрагменты созданных ранее прототипов ИЭС; PKB (опционально) – представляет собой БЗ, содержащую специфические знания для решения задач, требующих нестандартного подхода...» [1].

Основной процедурный (операционный) компонент P – в общем виде описывается «...как $P = \langle SK, AF, Pa, Pb, I, GP \rangle$, где SK – состояние текущего контекста, при котором активизируется интеллектуальный планировщик; AF – множество функциональных модулей, входящих в состав планировщика; Pa – процедура выбора текущей цели на основании плана разработки; Pb – процедура выбора наилучшего функционального модуля-исполнителя из списка возможных кандидатов; I – процедуры, обеспечивающие интерфейс с соответствующими компонентами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ; GP – процедуры работы с планами разработки ИЭС...» [1].

Теперь рассмотрим базовые элементы компонента KB – ТПП и ПИК. Модель любой ТПП представляется в виде «...тройки $TRP = \langle C, L, T \rangle$, где C – множество условий, при выполнении которых возможна реализация ТПП; L – сценарий выполнения, описанный на внутреннем языке описания действий ТПП;

T – множество параметров, инициализируемых интеллектуальным планировщиком при включении ТПП в план разработки прототипа ИЭС...» [1]. Каждый ПИК, участвующий в разработке прототипа ИЭС, представляется в виде «... $PIK = \langle N, Arg, F, PINT, FN \rangle$, где N – имя компонента, под которым он зарегистрирован в комплексе; $Arg = \{Arg_i\}$, $i = 1..l$ – множество аргументов, содержащих поддеревья базы данных текущего проекта, служащие входными параметрами для выполнения функций из множества $F = \{F_i\}$, $i = 1..s$ – множество методов (интерфейсов ПИК) данного компонента на уровне реализации; $PINT$ – множество наименований интерфейсов других ПИК, используемых методами данного ПИК, $FN = \{FN_i\}$, $i = 1..v$ – множество наименований функций, выполняемых данным ПИК...» [1].

Таким образом, основной задачей интеллектуального планировщика является динамическая поддержка действий инженера по знаниям на всех этапах жизненного цикла с помощью генерация *планов* разработки прототипов ИЭС и обеспечение возможностей исполнения конкретных планов (производится как в автоматическом режиме, так и в интерактивном режиме). Общая схема планирования процесса разработки каждого прототипа ИЭС с помощью интеллектуального планировщика представлена на рис. 1 [2,19].

Необходимо отметить, что в целом, построение плана разработки прототипа прикладной ИЭС требует «...привлечения самых разных знаний о моделях и методах решения типовых задач, о технологии проектирования и разработки ИЭС, о способах интеграции с внешними БД и ППП и др., поэтому *проектом* по разработке ИЭС называется хранящаяся в некотором формате на физическом но-

сители совокупность знаний и данных о решаемой задаче, на основе которых под управлением интеллектуального планировщика осуществляется процесс прототипирования ИЭС...» [1, 2].

Основной задачей интеллектуального планировщика является динамическая поддержка действий инженера по знаниям на всех этапах жизненного цикла с помощью генерация *глобального* и *детального* планов построения прототипов ИЭС [2, 19], а также синтез макета архитектуры, осуществляющийся на основе интеграции методов ИЭС с выбранными методами *интеллектуального планирования*. Поэтому общая модель процессов прототипирования ИЭС различной архитектурной типологии (M_{proto}) включает [2]: множество ПрО, для которых создаются прикладные ИЭС; множество стратегий прототипирования (как правило, используются 4 стратегии, описанные в [2]); множество прототипов, созданных и/или создаваемых на основе задачно-ориентированной методологии; некоторую функцию экспертной валидации прототипа ИЭС, определяющую необходимость и/или возможность разработки серии последующих прототипов ИЭС для конкретной ПрО; множество всех возможных действий инженеров по знаниям в процессе прототипирования; функцию планирования действий инженеров по знаниям для получения текущего прототипа ИЭС для конкретной ПрО.

Следует отметить, что основная интеллектуальная нагрузка модели M_{proto} во многом зависит от компонента, обеспечивающего планирование последовательности действий в соответствии с конкретной стратегией, определяющей множество наиболее актуальных задач/подзадач данной ПрО для каждого действия инженера по знаниям.

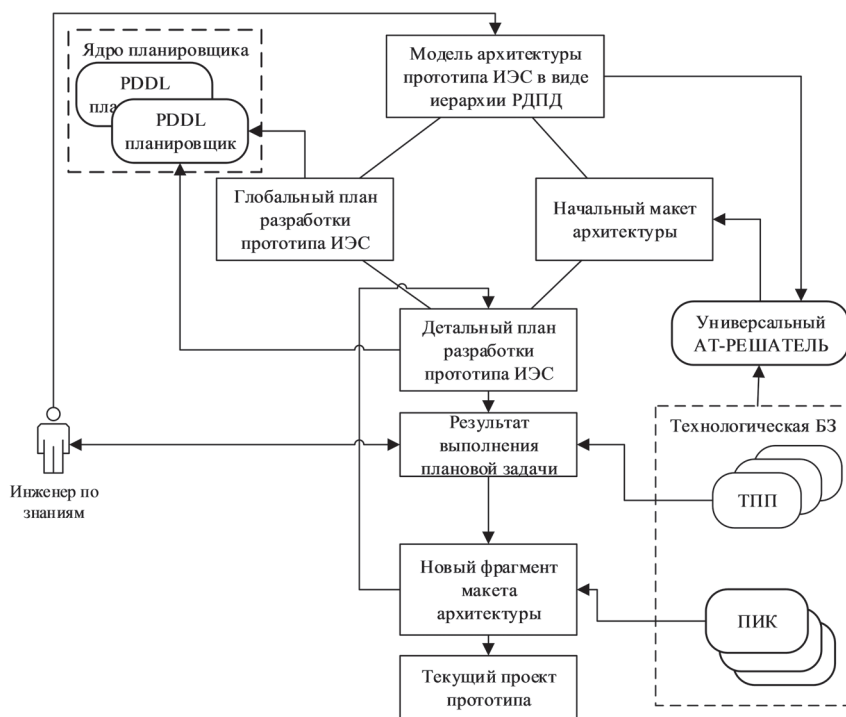


Рис. 1. Схема планирования процессов разработки текущих прототипов ИЭС

Теперь приведём краткую характеристику моделей и подходов, использованных при формализации процессов планирования и управления прототипированием обучающих ИЭС на основе реализации известного метода «поиск в пространстве состояний» [22]. Для этих целей была разработана модель плана в виде $\langle \dots PL = \langle S, PP, A, R, P, D \rangle$, где S – множество стадий разработки прототипа ИЭС, под которыми обычно понимаются этапы жизненного цикла создания текущего прототипа ИЭС; PP – множество ТПП, определяющих типологию архитектуры ИЭС; A – множество плановых задач, реализация которых необходима для успешной разработки прототипа ИЭС; R – отношение «входить в состав» между элементами множества A_i из множества A ; P – отношение следования между задачами A_i из множества A ; D – отношение, определяющее выполнимость/ невыполнимость задачи A_i из множества A с помощью конкретной ТПП из множества PP ...» [2,19].

Кроме того с целью детализации элементов плана разработана модель плановой задачи в виде $\langle \dots A_i = \langle K, Inst, Fun \rangle$, где K – контекст задачи, представляющий собой набор параметров и их значений; $Inst$ – инструментальное средство, с помощью которого возможно решение данной плановой задачи; Fun – функция инструмента $Inst$, позволяющего решать данную задачу с использованием содержимого контекста K ...» [2, 19].

И, наконец, рассмотрим текущую конкретизацию описанной выше модели ТПП. Здесь компонент C определяется как $\langle \dots C = \langle Frag_0, \dots, Frag_n, RC \rangle$, где $Frag_0$ – обязательный фрагмент условия; $Frag_1, \dots, Frag_n$ – опциональные фрагменты условия, RC – функция, показывающая, попадает ли элемент модели архитектуры в заданный фрагмент условия. Сценарий ТПП детализируется в виде сети задач с опциональными фрагментами $L = \langle AL, F, R \rangle$, где AL – множество общих задач, которые при подстановке параметров T преобразуются в плано-

вые задачи; RL – отношение предшествования между элементами из AL ; F – функция, определяющая, будет ли включена задача A_i в план разработки текущего прототипа ИЭС при включении данной ТПП в план с набором параметров T ...» [2,19].

Что касается выбора наиболее эффективных методов планирования и экспериментального их исследования при реализации нескольких версий интеллектуальных планировщиков, то эти вопросы детально обсуждаются в [1, 2, 6, 19, 20].

Следует добавить, что накопление многолетнего опыта, связанного с разработкой обучающих ИЭС, приводит к усложнению технологической БЗ, в частности, структуры ТПП и росту числа операционных и информационных ПИК, что существенно увеличивает трудоёмкость процессов прототипирования для каждой итерационной процедуры построения отдельных компонентов ИЭС, при этом негативный эффект от неоптимальности плана может быть более значительным. Например, основным значимым алгоритмическим элементом, используемым для построения обучающих ИЭС и веб-ИЭС является ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС», технологическая сложность реализации которой связана с необходимостью поддержки двух распределённых режимов функционирования обучающих ИЭС – режима DesignTime, ориентированного на работу преподавателей и/или инженеров по знаниям (построение онтологий курсов/дисциплин, обучающих воздействий различных типов и т.д.), и режима RunTime, предназначенного для работы с обучаемыми (построение текущих компетентностно-ориентированных моделей обучаемых, динамическое формирование индивидуальных стратегий (планов) обучения и т.п.)

3. Особенности использования типовых проектных процедур и повторно-используемых компонентов при построении обучающих ИЭС

3.1. Общая характеристика ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС»

Как было отмечено выше, важным алгоритмическим элементом при построении плана прототипирования обучающей ИЭС, является ТПП, под которой «...понимается набор элементарных ходов (инструкций), традиционно совершаемых инженером по знаниям на каждом этапе жизненного цикла разработки при решении каких-либо проектных задач. Интеллектуальный планировщик комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обладая определенной совокупностью знаний о всех ТПП, формирует набор задач для разработки любого прототипа ИЭС, а затем на основе требований к прототипу ИЭС, сформированных на этапе анализа системных требований, декомпозирует план разработки на более мелкие задачи (подзадачи)...» [1, 2].

Следует отметить, что все ТПП комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ классифицируются следующим образом: «...ТПП, не зависящие от типа задачи (например, приобретение знаний из БД и др.); ТПП, зависящие от типа задачи (например, формирование компонентов обучающих ИЭС и др.); ТПП, связанные с ПИК, т.е. процедуры, содержащие информацию о жизненном цикле ПИК от начала его настройки до включения в макет прототипа ИЭС, а также сведения о решаемых этим ПИК задачах, необходимых настройках и т.д...» [1, 2].

Общая архитектура инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ построена таким образом, что «...вся функциональность является распределенной, т.е. «разно-

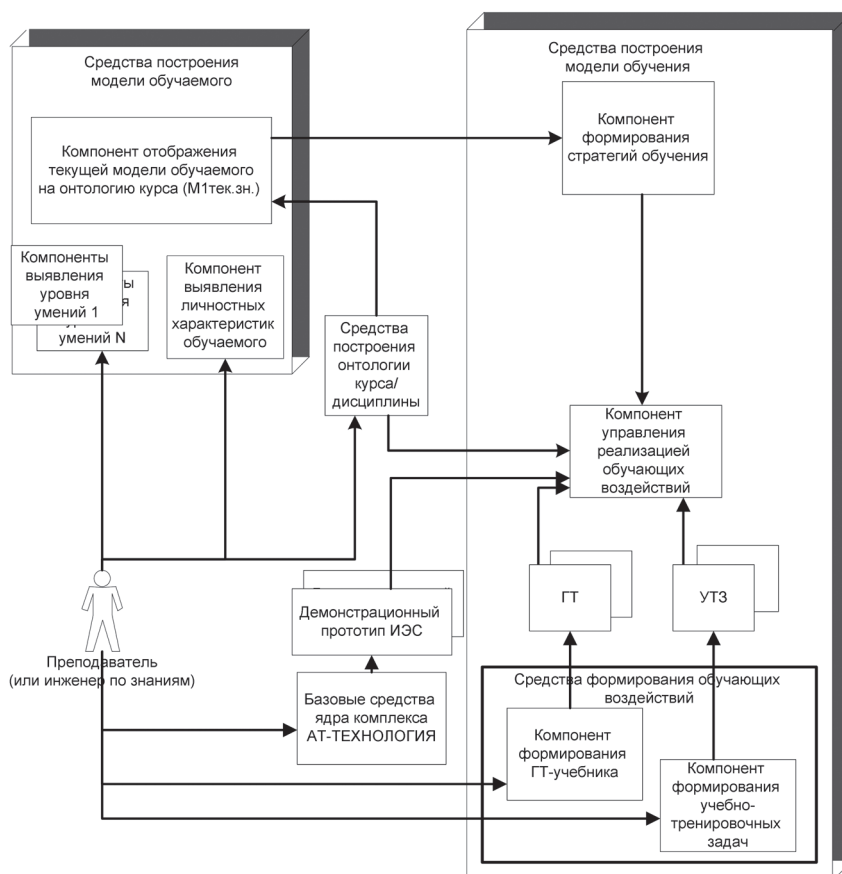


Рис. 2. Схема ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» (режим DesignTime)

сится» на компоненты, зарегистрированные в комплексе и действующие под управлением интеллектуальной программной среды – иными словами, данные компоненты являются ПИК комплекса и реализуются по правилам, определенным для ПИК...» [1]. Для ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» в настоящее время используются две группы ПИК – компоненты, реализующие возможности *процедурного* ПИК, и компоненты, реализующие возможности *информационного* ПИК. На рис. 2 представлена схема ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» в режиме DesignTime, а на рис. 3 – для режима RunTime [1, 2].

Как показано на рис. 2, в данном режиме используются следующие средства комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, оформленные как ПИК: средства формирования обучающих воздействий (ГТ-учебник, со-

вокупность УТЗ); базовые средства ядра комплекса для построения прототипа ИЭС; компонент выявления личностных характеристик обучаемых; средства построения онтологий курсов/дисциплин; компонент формирования стратегий обучения; компонент управления реализацией обучающих воздействий; различные компоненты выявления уровня умений; компонент отображения текущей модели обучаемого на онтологию курса/дисциплины.

На схеме, представленной на рис. 3, показано, что формирование текущей модели обучаемого непосредственно связано как со средствами построения и реализации модели обучения, так и с компонентом отображения текущей модели обучаемого на прикладную онтологию курса/дисциплины, причем компонент отображения также связан с компонентом форми-

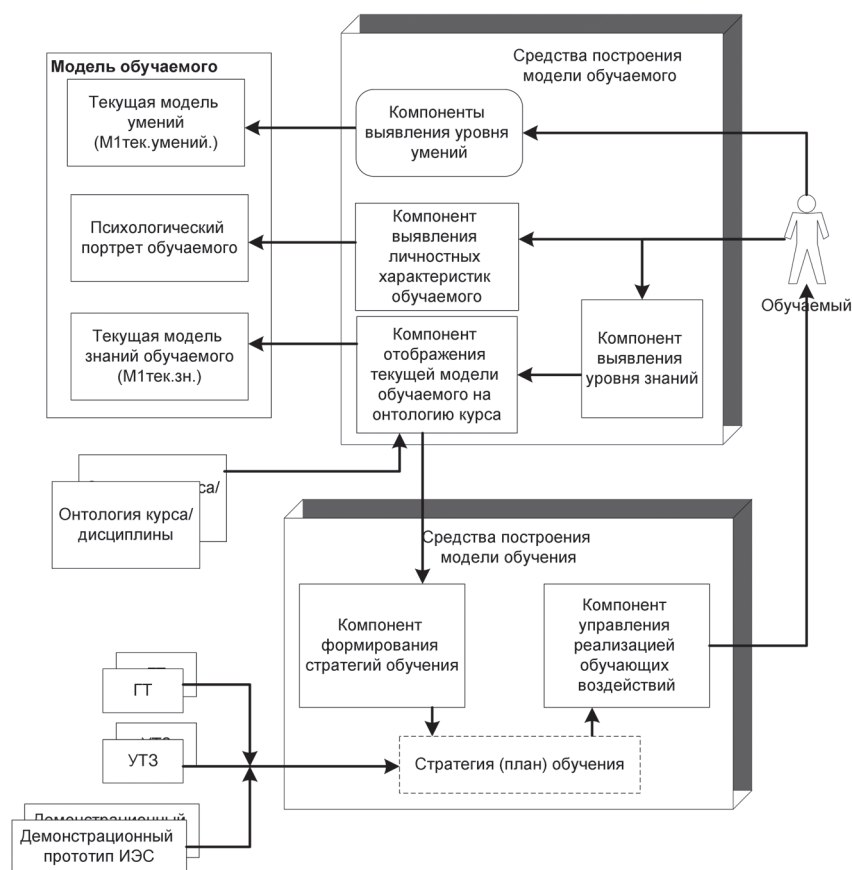


Рис. 3. Схема ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» (режим RunTime)

рования стратегий обучения. Особенностью обучающих ИЭС и веб-ИЭС, реализуемых средствами комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, является наличие компонентов выявления уровня умений обучаемых и средств построения психологического портрета обучающегося (как совокупности личностных характеристик, получаемых в результате психологического тестирования).

Представленная на рис. 2 и рис. 3 ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС» достаточно наглядно отражает значительный объем повторяющихся рутинных операций, которые, как правило, должен производить инженер по знаниям на всех этапах процесса проектирования (режим DesignTime) и сопровождения (режим RunTime) обучающих ИЭС и веб-ИЭС по конкретным курсам/дисциплинам.

Например, наибольшую трудоемкость и сложность

представляют собой такие этапы, как построение в режиме «DesignTime» обучающих воздействий типа «Тренинг с ИЭС», что представляет собой полномасштабную проблему разработки прикладной ИЭС для конкретной Про с использованием базовых средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Здесь, практически, для всех курсов/дисциплин обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии» необходимо использование методов инженерии знаний в виде НФ-задач и НФ-методик типа [2] «Системный анализ Про на применимость технологии ЭС», «Выбор формализма представления знаний», «Выбор инструментальных средств для ЭС» и др., содержащих экспертные знания. Совокупность перечисленных НФ-задач и их логическая взаимосвязь являются основой для построения модели Про на языке представления зна-

ний, предусмотренном в задачно-ориентированной методологии построения ИЭС [1].

3.2. Конкретизация модели ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС»

Рассмотрим пример конкретизации ТПП «Построение обучающих ИЭС и веб-ИЭС», модель которой представляется в виде $TPP_0 = \langle C_0, L_0, T_0 \rangle$, где C_0 – набор условий, при которых инициируется запуск данной ТПП; L_0 – сценарий выполнения ТПП, описанный на внутреннем языке описания сценариев; T_0 – набор параметров, инициализируемых интеллектуальным планировщиком, когда TPP_0 включается в план разработки обучающей ИЭС. С учетом различных режимов функционирования обучаемых ИЭС, данная модель включает модель $TPP_{DT} = \langle C_{DT}, L_{DT}, T_{DT} \rangle$, описывающую режим DesignTime, и модель $TPP_{RT} = \langle C_{RT}, L_{RT}, T_{RT} \rangle$ для режима RunTime.

Набор условий C_0 . Для включения в план разработки TPP_0 должны быть выполнены следующие условия: текущий этап жизненного цикла – анализ системных требований; в составе модели архитектуры обучающей ИЭС (иерархия расширенных диаграмм потоков данных (РДПД) [1]) присутствуют элементы, указывающие на наличие модели обучающегося, модели обучения, модели онтологии курса/дисциплины, модели Про; на иерархии РДПД присутствует хотя бы один элемент, связанный с решением НФ-задачи.

Сценарий L_0 . Ниже указаны основные этапы сценария TPP_0 :

1. *Стадия анализа системных требований.* Выполняется автоматизированное приобретение знаний на основе комбинированного метода приобретения знаний [1], осуществляющего процессы прямого приобретения знаний, построения и верификации

поля знаний [1,2] (для построения обучающего воздействия «Тренинг с ЭС/ИЭС»).

2. *Стадия проектирования.* На данном этапе выполняются такие действия, как:

- построение модели обучаемого (при помощи компонентов выявления уровня знаний и умений обучаемых, компонента выявления личностных характеристик для построения психологического портрета, генератора психологических тестов и др.);

- построение онтологии курса/дисциплины (формирование списка тем, вопросов и компетенций, реализация адаптивного метода репертуарных решеток и др.);

- построение модели обучения (формирование ГТ-учебника, формирование УТЗ, формирование стратегий обучения и др.);

- разработка модели расширенных объяснений;

- формирование средств вывода (в настоящее время поддерживается связка универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и темпорального решателя [1, 2]);

- конвертация полученных фрагментов поля знаний в БЗ на языке представления знаний, предусмотренном задачно-ориентированной методологией [1];

- построение модели диалога для обучающей ИЭС с использованием языка ЯОСД [1];

- конфигурирование компонентов обучающей ИЭС.

3. *Стадия реализации.* На финальном этапе создания прототипа обучающей ИЭС выполняются следующие действия: создание пользовательского интерфейса; интеграция с внешними системами (БД,

ППП и др.); общая интеграция компонентов обучающей ИЭС.

Набор параметров T_0 . Включение в план разработки TPP_0 инициализирует как параметр планировщика, в котором хранится информация о выполняемой в данный момент ТПП, так и параметр, в котором хранится текущий шаг сценария ТПП.

Выполнение данной ТПП обеспечивается с помощью совокупности ПИК, реализующих объявленную функциональность на каждой стадии прототипирования ИЭС. В базовой версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ используются процедурные и информационные ПИК [1]: процедурные компоненты предоставляют возможности по выполнению некоторых действий, направленных на получение нетиповых результатов (т.е. действий, которые ранее не были накоплены в репозитории или действий, требующих интерактивной работы с инженером по знаниям); информационные компоненты обеспечивают возможности по выполнению действий, целью которых является получение ранее накопленной в репозитории информации (знаний, данных, схем, структур и т.д.) с копированием ее в текущий проект и/или с дальнейшей обработкой (например, использование ранее созданной ER-диаграммы или анализ типовой диаграммы) и т.д.

В целом относительно роли ПИК следует отметить, что в настоящее время при прототипировании обучающих ИЭС используются около 20 операционных и 50 информационных ПИК, отражающих основные процессы, связанные

с реализацией базовых задач интеллектуального обучения, а также обеспечивающие построение как обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии», насчитывающей уже порядка 900 вершин, так и 6-ти онтологий курсов/дисциплин. Например, наиболее полная онтология «Введение в интеллектуальные системы» имеет около 200 вершин, между которыми построено 20100 связей трёх типов (сильная, средняя, слабая), а также обеспечено взаимодействие с 80 УТЗ 5-ти типов и 20 фрагментами ГТ-учебника.

Заключение

Объем данной работы и ограничения на список авторских публикаций не позволяют дать полноценное, эволюционно развивающееся и логически замкнутое описание многолетнего опыта разработки и внедрения в учебный процесс НИЯУ МИФИ нескольких обучающих ИЭС и веб-ИЭС, функционирующих на основе обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии». Тот, кто захочет более детально познакомиться с отдельными вопросами теории и интеллектуальной технологии построения обучающих ИЭС и веб-ИЭС на основе использования задачно-ориентированной методологии и инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, может обратиться к другим публикациям автора и его учеников, указанным в тексте, а также непосредственно в лабораторию «Интеллектуальные системы и технологии» кафедры «Кибернетика» НИЯУ МИФИ.

Литература

1. Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем. Монография. М.: Научтехлитиздат, 2008. 482 с.
2. Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я. Серия монографий в 3 кн.: Кн. 1. Системы основанные на знаниях. Интегриро-

References

1. Rybina G.V. Teoriya i tekhnologiya postroeniya integrirovannykh ekspertnykh sistem. Monografiya. Moscow: Nauchtekhlitizdat, 2008. 482 p.
2. Rybina G.V. Intellektualnye sistemy: ot A do Ya. Seriya monografiy v 3 knigakh. Book 1. Sistemy osnovannye na znaniyakh. Integrirovannye

ванные экспертные системы. М.: Научтехлитиздат, 2014. 224 с.

3. Рыбина Г.В. Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 22–46.

4. Рыбина Г.В. Современные подходы к реализации интеллектуального компьютерного обучения на основе разработки и использования обучающих интегрированных экспертных систем // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2010. № 5. С. 10–15.

5. Рыбина Г.В. Интеллектуальные обучающие системы на основе интегрированных экспертных систем: опыт разработки и использования // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2011. № 10. С. 4–16.

6. Рыбина Г.В. Модели и методы реализации интеллектуальной технологии построения интегрированных экспертных систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. №10. С. 27–37.

7. Nye B.D. Intelligent tutoring systems by and for the developing world: A review of trends and approaches for educational technology in a global context // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2015. № 25. P. 177–203.

8. Bonner D., Walton J., Dorneich M.C., Gilbert S.B., Winer E., Sottolare R.A. The development of a testbed to assess an intelligent tutoring system for teams // Workshops at the 17th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED-WS 2015; CEUR Workshop Proceedings. 2015.

9. Rahman A.A., Abdullah M., Alias S.H. The architecture of agent-based intelligent tutoring system for the learning of software engineering function point metrics // 2nd International Symposium on Agent, Multi-Agent Systems and Robotics, ISAMSR 2016. 2016. P. 139–144.

10. Sosnovsky S., Mitrovic A., Lee D., Brusilovsky P., Yudelson M. Ontology-based integration of adaptive educational systems. In: 16th International Conference on Computers in Education (ICCE 2008). 2008. P. 11–18.

11. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М. и др. Проект IACPaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений // Искусственный интеллект и принятие решений. 2011. №1. С. 27–35.

12. Грибова В.В., Клещев А.С., Крылов Д.А., Москаленко Ф.М. и др. Базовая технология разработки интеллектуальных сервисов на облачной платформе IACPaaS. Часть 1. Разработка базы знаний и решателя задач // Программная инженерия. 2015. № 12. С. 3–11.

13. Грибова В.В., Островский Г.Е. Интеллектуальная обучающая среда для диагностики острых хронических заболеваний // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016. Труды конференции. Т. 3. Смоленск: Универсум, 2016. С. 171–179.

14. Голенков В.В., Гулякина Н.А. Семантичес-

експертные системы. Moscow: Naughtekhlitizdat, 2014. 224 p.

3. Rybina G.V. Obuchayushchiye integrirovannyye ekspertnyye sistemy: osobennosti i perspektivy. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2008. No.1. P. 22–46.

4. Rybina G.V. Sovremennyye podkhody k realizatsii intellektual'nogo komp'yuternogo obucheniya na osnove razrabotki i ispol'zovaniya obuchayushchikh integrirovannykh ekspertnykh sistem. Pribory i sistemy. Upravleniye, Kontrol', Diagnostika. 2010. No. 5. P. 10–15.

5. Rybina G.V. Intellektual'nyye obuchayemyye sistemy na osnove integrirovannykh ekspertnykh sistem: opyt razrabotki i ispol'zovaniya. Informatsionno-izmeritel'nyye i upravlyayushchiye sistemy. 2011. No.10. P. 4–16.

6. Rybina G.V. Modeli i metody realizatsii intellektual'noy tekhnologii postroyeniya integrirovannykh ekspertnykh sistem. Pribory i sistemy. Upravleniye, kontrol', diagnostika. 2011. No. 10. P. 27–37.

7. Nye B.D. Intelligent tutoring systems by and for the developing world: A review of trends and approaches for educational technology in a global context. International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2015. No.25. P. 177–203.

8. Bonner D., Walton J., Dorneich M.C., Gilbert S.B., Winer E., Sottolare R.A. The development of a testbed to assess an intelligent tutoring system for teams. Workshops at the 17th International Conference on Artificial Intelligence in Education, AIED-WS 2015; CEUR Workshop Proceedings. 2015.

9. Rahman A.A., Abdullah M., Alias S.H. The architecture of agent-based intelligent tutoring system for the learning of software engineering function point metrics. 2nd International Symposium on Agent, Multi-Agent Systems and Robotics, ISAMSR 2016. 2016. P. 139–144.

10. Sosnovsky S., Mitrovic A., Lee D., Brusilovsky P., Yudelson M. Ontology-based integration of adaptive educational systems. In: 16th International Conference on Computers in Education (ICCE 2008). 2008. P. 11–18.

11. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M. i dr. Proekt IACPaaS. Kompleks dlya intellektualnykh sistem na osnove oblachnykh vychisleniy. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2011. No.1. P. 27–35.

12. Gribova V.V., Kleshchev A.S., Krylov D.A., Moskalenko F.M. i dr. Bazovaya tekhnologiya razrabotki intellektualnykh servisov na oblachnoy platforme IACPaaS. Chast 1. Razrabotka bazy znaniy i reshatelya zadach. Programmaya inzheneriya. 2015. No. 12. P. 3–11.

13. Gribova V.V., Ostrovskiy G.Ye. Intellektual'naya obuchayushchaya sreda dlya diagnostiki ostrykh i khronicheskikh zabolevaniy. Pyatnadsataya natsionalnaya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhduna-rodnyim uchastiem KII-2016. Trudy konferentsii. V 3-kh tomakh. Smolensk: Universum. 2016. Vol. 3. P. 171–179.

14. Golenkov V.V., Gulyakina N.A. Seman-

кие технологии компонентного проектирования систем, управляемых знаниями // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных технологий проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): материалы V Международной научно-технической конф. Мн.: БГУИР. 2015 С. 57–78.

15. *Burita L.* Intelligent software ATOM for knowledge systems development // Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013, ISA 2013, Proceedings of the IADIS European Conference on Data Mining 2013, ECDM 2013. 2013 P. 102–106.

16. *Gharaibeh N., Soud S.A.* Software development methodology for building intelligent decision support systems // Doctoral Consortium on Software and Data Technologies – Proc. of the Doctoral Consortium on Software and Data Technologies, DCSOFT 2008; In Conjunction with ICSOFT 2008–2008 P. 3–14.

17. *Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А.* Онтологическое моделирование сетевых взаимодействий организаций в информационно-образовательном пространстве // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016. Труды конференции. Т1. Смоленск: Универсум, 2016. С.106–114.

18. *Трембач В.М.* Системы управления базами эволюционирующих знаний для решения задач непрерывного образования. М.: МЭСИ, 2013. 255 с.

19. *Рыбина Г.В., Блохин Ю.М.* Методы и средства интеллектуального планирования: применение для управления процессами построения интегрированных экспертных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. №1. С. 75–93.

20. *Rybina G.V., Blokhin Yu.M., Rybin V.M., Sergienko E.S.* Intelligent technology for integrated expert system construction // Advances in Intelligent Systems and Computing. Volume 451. Berlin: Springer, 2016. P. 187–197.

21. *Гаврилова Т.А.* Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. СПб.: Издательство «Лань», 2016. 324 с.

22. *Рассел С., Нордвиг П.* Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1408 с.

23. *Башмаков А.И., Башмаков И.А.* Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. 616 с.

tichekie tekhnologii komponentnogo proektirovaniya sistem, upravlyaemykh znaniyami. Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektualnykh tekhnologiy proektirovaniya intellektualnykh sistem (OSTIS-2015): materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf. Mn.: BGUIR. 2015 P. 57–78.

15. *Burita L.* Intelligent software ATOM for knowledge systems development. Proceedings of the IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents 2013, ISA 2013, Proceedings of the IADIS European Conference on Data Mining 2013, ECDM 2013. – 2013 P. 102–106.

16. *Gharaibeh N., Soud S.A.* Software development methodology for building intelligent decision support systems. Doctoral Consortium on Software and Data Technologies – Proc. of the Doctoral Consortium on Software and Data Technologies, DCSOFT 2008; In Conjunction with ICSOFT 2008–2008 P. 3–14.

17. *Tel'nov Y.F., Kazakov V.A.* Ontologicheskoye modelirovaniye setevykh vzaimodeystviy v informatsionno-obrazovatel'nom prostranstve. Pyatnadsataya natsional'naya konferentsiya po iskusstvennomu intellektu s mezhdunarodnym uchastiyem KII-2016. Trudy konferentsii. T1. Smolensk: Universum, 2016. P.106–114.

18. *Trembach V.M.* Sistemy upravleniya bazami evolyutsioniruyushchikh znaniy dlya resheniya zadach nepreryvnogo obrazovaniya. Moscow: MESI, 2013. 255 p.

19. *Rybina G.V., Blokhin Yu.M.* Metody i sredstva intellektualnogo planirovaniya: primenenie dlya upravleniya protsessami postroeniya integrirovannykh ekspertnykh sistem. Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy. 2015. No.1. P. 75–93.

20. *Rybina G.V., Blokhin Yu.M., Rybin V.M., Sergienko E.S.* Intelligent technology for integrated expert system construction. Advances in Intelligent Systems and Computing. Volume 451. Berlin: Springer, 2016. P. 187–197.

21. *Gavrilova T.A.* Inzheneriya znaniy. Modeli i metody: Uchebnik. Saint Petersburg: Izdatel'stvo «Lan'», 2016. 324 p.

22. *Rassel S., Nordvig P.* Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod, 2 ed.: tran. from Eng. Moscow: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 2006. 1408 p.

23. *Bashmakov A.I., Bashmakov I.A.* Razrabotka komp'yuternykh uchebnikov i obuchayushchikh sistem. Moscow: Informatsionno-izdatel'skiy dom «Filin'», 2003. 616 p.

Сведения об авторе

Галина Валентиновна Рыбина
Д.т.н., профессор,
профессор кафедры «Кибернетика»
Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия
Эл. почта: galina@ailab.mephi.ru
Тел.: 8(499)324-28-85

Information about the author

Galina V. Rybina
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Cybernetics department
National Research Nuclear University "MEPhI"
Moscow, Russia
E-mail: galina@ailab.mephi.ru
Tel.: 8(499)324-28-85