

УДК 004.89

doi: 10.15622/rcai.2025.086

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОГРАММНАЯ СРЕДА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ: МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ НА ПРИНЦИПАХ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Г.В. Рыбина (*GVRybina@yandex.ru*)
А.А. Григорьев (*grigandal625@gmail.com*)

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва

Описываются результаты исследований, связанных с построением адаптивной онтологической программной среды (АОЕ) интеллектуального обучения на основе использования обучающих ИЭС и веб-ИЭС, разработанных на базе задачно-ориентированной методологии и средств интеллектуальной программной среды инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Архитектура АОЕ разработана в виде гибридной интеллектуальной системы управления (ИСУ) процессами функционирования обучающих ИЭС и веб-ИЭС с использованием принципов ситуационного управления сложными организационно-техническими системами. Рассматриваются предложенные модели и методы реализации ситуационного подхода к решению задачи управления АОЕ с использованием обобщенной онтологии представления знаний о направлении/специальности подготовки и базовых средств вывода.

Ключевые слова: интеллектуальные обучающие системы, интеллектуальное обучение, интегрированные экспертные системы, ИЭС, обучающие ИЭС, веб-ИЭС, задачно-ориентированная методология, комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, адаптивная онтологическая среда, обобщенная модель онтологии, ситуационное управление, интеллектуальная система управления, ИСУ.

Введение

Методы и технологии интеллектуальных обучающих систем (ИОС), ведущих свое начало от пионерских работ Дж. Карбонелла [Carbonell, 1970] и П.Л. Брусиловского [Брусиловский, 1990], сегодня активно вос-

требованы в системе вузовского образования, поскольку обеспечивают возможность автоматизированной поддержки базовых для ИОС моделей *обучаемых* и разнообразных моделей *обучения*.

Быстрое развитие веб-технологий и облачных платформ позволило значительно расширить возможности средств *интеллектуального обучения* [Рыбина, 2023b] на основе разработки и использования ИОС и веб-ИОС, обладающих разнообразной архитектурой и способных интегрировать методы и средства ИИ с методами и подходами из других областей на основе концептуальной и логической взаимосвязи процессов *индивидуализации, интеллектуализации и веб-ориентации*. Классификация и примеры реализации ИОС с различной архитектурной типологией, включая инструментальные средства (ИС) для поддержки их разработки приводятся в [Рыбина, 2014], [Рыбина, 2023b], а также в работах [Алещенко и др., 2016], [Bonner et al., 2015], [Gribova et al., 2018], [Nye, 2015], [Rahman et al., 2016], [Сычев и др., 2025] и др.

В последние годы возросла роль онтологического подхода в ИОС и веб-ИОС для построения онтологий различного назначения [Фролов, 2024], [Гаврилова, 2016], [Рыбина, 2023a], [Rybina et al., 2022], [Rybina et al., 2023], при семантической интеграции различных веб-ИОС в рамках общей проблемной области (ПрО) [Sosnovsky et al., 2008] и т.д. Однако, при этом в ИОС отсутствуют комплексные исследования и разработки, направленные на создание системного подхода к автоматизированному построению и использованию доступного онтологического пространства знаний и умений обучаемых, формируемого на протяжении всего конкретного образовательного цикла.

Для решения этой актуальной проблемы достаточно перспективной научной и технологической базой оказался комплекс моделей и методов автоматизированного построения *обучающих* интегрированных экспертных систем (ИЭС) и веб-ИЭС (далее ИЭС/веб-ИЭС), представляющих собой полнофункциональные ИОС, и разработка которых осуществляется на основе задачно-ориентированной методологии построения ИЭС [Рыбина, 2008] и поддерживающего методологию инструментария класса Workbench в виде интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [Рыбина, 2014], [Rybina et al., 2019].

Многолетний опыт (с 2008 г.) разработки и использования в учебном процессе НИЯУ МИФИ по направлениям подготовки «Прикладная математика и информатика» и «Программная инженерия» нескольких обучающихся ИЭС/веб-ИЭС привел к необходимости эффективного использования значительных ресурсов в виде хорошо апробированных взаимосвязанных моделей, методов и программных средств для решения типовых задач интеллектуального обучения на различных этапах образовательного процесса [Рыбина, 2014], [Рыбина, 2023b].

Поэтому актуальной стала задача создания единого автоматизированного *онтологического пространства знаний и умений* обучаемых [Рыбина, 2023b], [Rybina et al., 2022], [Rybina et al., 2023] как совокупности информационно-образовательных процессов и программных ресурсов по реализации типовых задач интеллектуального обучения на основе обучающих ИЭС/веб-ИЭС, используемых в течение полного цикла непрерывного обучения под управлением обобщенной онтологии и средств интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, с целью автоматизированного построения компетентностно-ориентированных моделей выпускников по конкретным направлениям/специальностям подготовки за конкретный период.

В работе обсуждаются результаты исследований, связанных с разработкой методов и средств построения адаптивной онтологической среды интеллектуального обучения на основе обучающих ИЭС/веб-ИЭС.

1. Краткая характеристика обучающих интегрированных экспертных систем и процессов их функционирования

Детальное описание методов и средств разработки обучающих ИЭС/веб-ИЭС содержится в базовых работах [Рыбина, 2023b], [Рыбина, 2014], [Рыбина, 2008] и целом ряде публикаций разных лет, поэтому ниже приводится краткая характеристика только тех особенностей, которые наиболее важны в данной работе.

1. Обучающие ИЭС/веб-ИЭС обладают масштабируемой архитектурой, позволяющей расширять компонентную функциональность ИЭС до уровня ИОС за счет построения комплекса базовых моделей, что включает: компетентностно-ориентированную модель обучаемых, адаптивную модель обучения, модель прикладной онтологии курса/дисциплины, модель обобщенной онтологии представления знаний о направлении/специальности подготовки, расширенную модель объяснения.

2. Проходят постоянную апробацию в учебном процессе методы и средства реализации трех типовых задач интеллектуального обучения [Рыбина, 2023b], а именно: индивидуальное планирование методики изучения учебных курсов/дисциплин; интеллектуальный анализ решений учебных задач; интеллектуальная поддержка принятия решений.

3. Динамически поддерживаются: процессы веб-тестирования обучаемых при выявлении текущего уровня *знаний* обучаемых с использованием прикладных онтологий курсов/дисциплин и генетического алгоритма; веб-взаимодействие с компонентами выявления уровня *умений* обучаемых решать учебные НФ-задачи [Рыбина, 2023b], [Рыбина, 2014] и обучающими *воздействиями* типа «Тренинг с ЭС/ИЭС» [Rybina et al., 2024]

4. Обеспечивается мониторинг функционирования обучающих веб-ИЭС, включающий автоматизацию процессов, возникающих в ходе обучения и контроля знаний/умений обучаемых (с учетом требований информационной безопасности).

2. Общая структура и конкретизация информационно-образовательных и программных ресурсов интеллектуального обучения на основе интегрированных экспертных систем

На рис. 1 представлена общая структура [Рыбина, 2023а] основных информационно-образовательных процессов и программных ресурсов нескольких обучающих ИЭС/веб-ИЭС, задействованных для автоматизированного выявления уровня знаний и умений обучаемых при реализации представленных на рис. 1 типовых задач интеллектуального обучения, с учетом использования всех ресурсов и средств на всех и/или отдельных этапах полного образовательного цикла под управлением обобщенной онтологии представлений знаний о конкретном направлении/специальности подготовки.

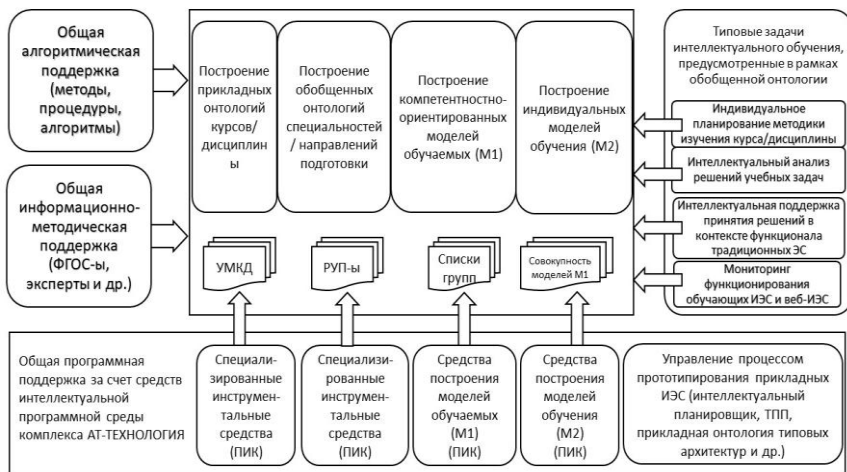


Рис. 1. Общая структура информационно-образовательных и программных ресурсов интеллектуального обучения с использованием обучающих ИЭС [Рыбина, 2023а]

В этом случае общая структура адаптивной онтологической среды интеллектуального обучения на основе обучающих ИЭС (далее АОЕ от англ. Adaptive Ontological Environment) конкретизируется в виде кортежа:

(1)

где – модель обобщенной онтологии представления знаний о направлении/специальности подготовки, где – прикладные онтологии курса/дисциплины, – множество базовых операций (процедур) построения элементов онтологии, реализованных в виде программных компонентов (– объединение онтологий, – выборка элементов онтологии, – отсечение элементов онтологии, – поиск элементов онтологии);

– прикладная онтология курса/дисциплины, где – базовая модель онтологии в виде семантической сети,

– множество операций построения элементов (– построение структуры курса/дисциплины, – формирование вопросов к контролируемым элементам, – реализация адаптивного метода репертуарных решеток, – построение целевых компетенций, – построение связей между компетенциями и элементами курса.);

– типовые задачи интеллектуального обучения, где

– индивидуальное планирование методики изучения учебного курса/дисциплины, – интеллектуальный анализ решений учебных задач,

– интеллектуальная поддержка принятия решений;

– курсы/дисциплины в соответствии с УМКД;

– модели обучаемых (*знаний* обучаемых) по конкретным курсам/дисциплинам, ;

– модели обучаемых (*умений* обучаемых) по конкретным курсам/дисциплинам,

– модели обучения по конкретным курсам, ;

– целевые профессиональные компетенции в соответствии с УМКД, , – – – – – ;

– средства построения , включенные в состав интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ;

– базовые средства вывода, включенные в состав интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, где – универсальный АТ-РЕШАТЕЛЬ, – темпоральный решатель;

– средства имитационного моделирования внешней среды, включенные в состав интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ;

– единая база данных моделей обучаемых и моделей обучения (более 2500 моделей), содержащая информацию, накопленную в процессе функционирования обучающихся ИЭС по конкретным курсам/дисциплинам;

– динамическая ИЭС «Мониторинг информационной безопасности процессов функционирования обучающихся веб-ИЭС»;

– совокупность параметров аналитико-статистической обработки результатов мониторинга функционирования обучающихся ИЭС;

– совокупность отчетных документов (ведомости, отчеты и др.).

Таким образом, структура АОЕ представляет собой сложный *функционально-интегрированный* комплекс взаимодействующих логико-лингвистических, математических и информационно-программных средств автоматизации, предназначенных для мониторинга и управления процессами функционирования обучающихся ИЭС/веб-ИЭС. Это позволяет рассматривать АОЕ как отдельный тип архитектуры гибридной интеллектуальной системы управления (ИСУ), основываясь на базовых принципах организации современных ИСУ [Макаров и др., 2006].

3. Применение принципов ситуационного управления для построения архитектуры интеллектуальной системы управления функционированием обучающихся ИЭС

В соответствии с классической теорией автоматического управления под *управлением* всегда подразумевается организованное специальным образом взаимодействие объекта и устройства (системы) управления. Однако, нетрадиционность и слабая формализуемость *интеллектуального* объекта управления (ОУ) организационно-технического типа в виде обучающей ИЭС/веб-ИЭС, базирующейся на интеграции моделей ИИ и ИОС и технологиях, основанных на знаниях (включая НЕ-факторы знаний), делает неприемлемым использование классических методов оптимального управления сложными объектами.

Поэтому в работе используется подход, основанный на принципах ситуационного управления сложными техническими и организационными системами, предложенный Д.А. Поспеловым [Поспелов, 1986], в основе которого лежат семиотические и логико-лингвистические модели ИИ для представления знаний об ОУ и способах управления им. Идеи ситуационного управления [Клыков, 1974], [Поспелов, 1986], [Поспелов, 2020] развивались в нашей стране одновременно с развитием работ в области ИИ, взаимно обогащая как теорию, так и практические разработки интеллектуальных систем для различных ПрО и классов задач управления [Болотова, 2012], [Башлыков и др., 2025], [Цветков, 2023] и др.

Поскольку данная работа представляет собой современный виток развития ситуационного управления применительно к ИСУ, то для дальнейшего анализа метода ситуационного управления на рис. 2 приводится общая схема решения задачи правления сложными объектами в том виде, как она была представлена в [Поспелов, 1986]. Здесь введены основные определения: текущая ситуация на ОУ – , полная ситуация на ОУ – ,

управляющее воздействие на ОУ (одношаговое решение) — . Элементарный акт управления задается в виде , где — новая ситуация, возникшая после применения допустимого воздействия .

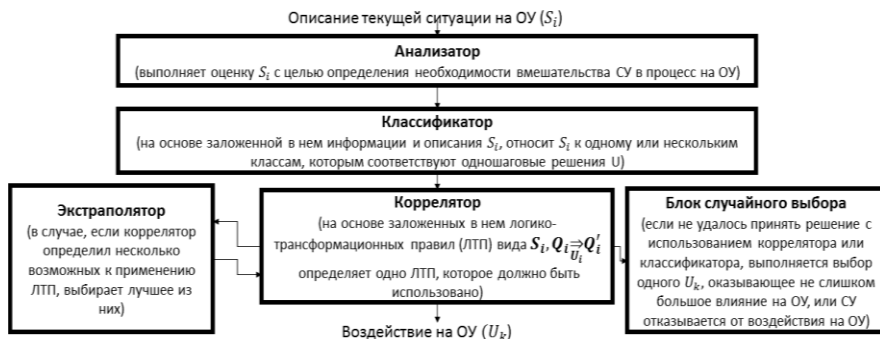


Рис. 2. Общая схема решения задачи управления [Поспелов, 1986]

Правила преобразования называются *логико-трансформационными* правилами (ЛТП) или *корреляционными*, а полный список ЛТП определяет возможности системы управления (СУ) воздействовать на процессы в ОУ. Таким образом, решение задачи управления — это последовательность выполнения основных процедур ситуационного управления, т.е. *анализа* текущей проблемной ситуации, ее *классификации*, *назначения конкретного ЛТП*, *выбора решения* и *экстраполяции* последствий принятия решений.

Используя принципы ситуационного управления, задача принятия управляющих решений на любом уровне управления системой формулируется как поиск такого разбиения множества ситуаций на классы, при котором каждому классу соответствует решение, оптимальное с точки зрения критерия функционирования. Если такое решение получено, то управление ОУ на конкретном уровне реализуется следующим образом: по ситуации , зафиксированной в момент времени t , определяется класс, к которому принадлежит , и выбирается соответствующая команда управления, на основе которой ситуация преобразуется в ситуацию и т.д. до тех пор, пока очередная ситуация не попадет в заранее фиксированный класс или не будет исчерпано заданное число этапов.

В ранних работах по ситуационному управлению предлагались различные семиотические языки описания ситуаций и средства их анализа и интерпретации [Клыков, 1974], [Болотова, 2012] и др. С 1980-х гг. стали создаваться интеллектуальные системы, в архитектуре которых использовались многие принципы ситуационного управления [Поспелов, 2020]: экспертная система объединила в себе функции *анализатора*, *классификатора*, *коррелятора*, *экстраполятора* и базы знаний, в которой накоп-

ливается история функционирования ОУ; блок имитационного моделирования осуществлял моделирование развития ситуаций (прогноз); интеллектуальный интерфейс обеспечивал общение с пользователем.

В данной работе при выборе метода ситуационного управления для практической реализации ИСУ учитывались: используемые в обучающих ИЭС/веб-ИЭС технологии инженерии знаний и онтологического инжиниринга; концептуально-функциональная многокомпонентность и неоднородность информационно-программных ресурсов пяти обучающих ИЭС/веб-ИЭС, а также динамической ИЭС для мониторинга информационной безопасности; различные модели представления знаний, разнообразные средства вывода и моделирования внешней среды; способы использования отдельных средств поддержки построения обучающих веб-ИЭС (инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) и др.

На основе исследования и развития базовых положений и принципов ситуационного управления применительно к современным интеллектуальным системам типа ИСУ [Макаров и др., 2006] была разработана архитектура *гибридной* ИСУ, реализующей целый ряд интеллектуальных и вычислительных функций и способной к адаптации и изменениям внешних условий функционирования ОУ, в качестве которого в данной работе выступают обучающая ИЭС/веб-ИЭС по конкретному курсу/дисциплине и процессы ее функционирования в течение полного цикла (или отдельных этапов) интеллектуального обучения.

Поскольку речь идет о новом уровне автоматизации и дальнейшего развития обучающих ИЭС/веб-ИЭС в контексте современных ИСУ, то построение *общей модели управления* по ситуациям, складывающимся на интеллектуальном ОУ, полностью определяется тем, насколько существующие информационно-программные ресурсы, используемые в обучающих ИЭС/веб-ИЭС, можно соотнести с множеством возможных ситуаций (состояний) процессов функционирования ОУ, возможностью выделения классов ситуаций и соответствующих управляющих решений.

Изначально структура управления интеллектуальным ОУ в виде обучающей ИЭС/веб-ИЭС имеет *иерархический* характер, причем ситуации S на каждом уровне управления обладают различной полнотой и точностью описания реализованных задач, а число допустимых управляющих решений меньше числа ситуаций. В настоящее время разработано полное описание и общая структура объемной (свыше 90 вершин) ситуационной сети (), отражающей несколько уровней управления – *мониторинговый, обобщенный, два компонентных* (верхний и нижний), где на соответствующих уровнях находятся системы, программные средства и компоненты, обеспечивающие реализацию конкретных управляющих решений R для типовых задач интеллектуального обучения и мониторинга процессов функционирования обучающих веб-ИЭС.

На основе разработанной ситуационной сети и с использованием средств поддержки построения прикладных онтологий, входящих в состав инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, построена *онтологическая модель Z* и разработаны процедуры и алгоритмы, реализующие взаимодействия отдельных элементов онтологии.

Соответственно, новая модель *обобщенной онтологии* представления знаний о направлении/специальности подготовки описывается в виде:

$$, \quad (2)$$

где – прикладные онтологии курса/дисциплины;

– онтологическая модель ситуационной сети управления

; где

– типы уровней ситуаций управления, где

– уровень мониторинга; – обобщенный уровень управления;

– компоненты верхнего уровня; – компоненты нижнего уровня;

– множество ситуаций управления, где , где

– множество ситуаций управления, связанных с

уровнем мониторинга,

– множество ситуаций управления,

связанных с обобщенным уровнем,

– множество ситуаций

управления, связанных с компонентами верхнего уровня,

– множество ситуаций управления, связанных с компонентами нижнего уровня.

– множество аксиом и/или правил обобщения ситуаций, – количество аксиом/правил;

– операции с элементами онтологии , где

– базовые операции с элементами Г ,

– множество операций с элементами онтологии , реализующих процедуры типа ЛТП для отображения текущей ситуации на онтологию и выбора управляющего воздействия (решения) и модификации моделей;

– множество правил взаимодействия элементов с элементами , – количество правил;

– множество этапов образовательного цикла, определенных на конкретном интервале времени (за семестр, курс и др.);

– множество целей по достижению обучаемыми целевых профессиональных компетенций на конкретном этапе.

Таким образом, разработанная обобщенная онтология представления знаний о направлении/специальности подготовки (G) совместно с базовыми средствами вывода, функционирующими в составе интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обеспечивают реализацию классической схемы ситуационного управления (анализ, кластеризация, корреляция) в рамках архитектуры современной ИСУ. Для

описания онтологии и ее отдельных компонентов использовались предусмотренные в рамках задачно-ориентированной методологии базовые средства представления и обработки знаний [Рыбина, 2008], [Рыбина, 2014] в виде расширенного языка представления знаний (ЯПЗ), универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ и темпорального решателя.

Основной функцией универсального АТ-РЕШАТЕЛЯ при взаимодействии с онтологией является анализ и классификация текущей ситуации управления (используется режим конфигурации АТ-РЕШАТЕЛЯ) и поиск (выбор) решения на основе базы ЛТП, описанной на ЯПЗ. Все ЛТП реализуются на основе процедур выбора управляющего воздействия, выполнение которого приводит к переходу к новой ситуации, а реализуется как запуск готовых программ. Отметим, что целью управления является достижение для каждого обучаемого целевых профессиональных компетенций (описанных в прикладных онтологиях курсов/дисциплин [Рыбина, 2023b]), в течение образовательного цикла.

4. Особенности программной реализации адаптивной онтологической среды интеллектуального обучения в виде архитектуры интеллектуальной системы управления

Программная реализация АОЕ выполнена в виде архитектуры ИСУ (рис. 3), реализованной на принципах ситуационного подхода к управлению, где в качестве ОУ выступает обучающая веб-ИЭС и ее процессы функционирования.

Для моделирования случайных воздействий внешней среды на ОУ в составе архитектуры предусмотрены средства имитационного моделирования. Система управления реализуется на основе взаимодействия средств вывода и обобщенной онтологии представления знаний о направлении/специальности подготовки (), в состав которой включена онтологическая модель ситуационной сети управления ().

Поскольку, в отличие от сложных ОУ технической природы, обучающая веб-ИЭС и процессы ее функционирования рассматриваются как ОУ программно-организационной природы, то роль исполнительных механизмов заключается в обеспечении программной поддержки управляющих воздействий.

Общая сложность реализации ИСУ заключается в использовании большого количества (свыше 90) разнородных программных компонентов с различными уровнями функциональности, между которыми реализуются достаточно сложные механизмы взаимодействия, определяемые логикой решения типовых задач интеллектуального обучения с использованием обучающих ИЭС/веб-ИЭС. Поэтому важной частью исследований являлся выбор адекватного подхода к программной реализации ИСУ.



Рис. 3. Адаптивная онтологическая среда интеллектуального обучения в виде архитектуры ИСУ, реализованной на принципах ситуационного подхода

В данном случае наиболее предпочтительным является *сборочное программирование* [Лаврищева, 2025a], т.к. выполняются все необходимые условия: большое число разнообразных программных продуктов, использующихся как объекты сборки; возможность паспортизации программных объектов сборки; достаточное число стандартных правил сопряжения объектов и алгоритмов их реализации и средств автоматизации процесса сборки; наличие технологий применения разработанных объектов для использования в более сложных программах.

Из современных методологий сборочного программирования на основе сравнительного анализа был выбран *компонентно-ориентированный (CBD)* подход к разработке, где базовым понятием является программный компонент – независимый, самостоятельно реализованный программный объект, доступ к которому возможен с помощью интерфейсов, определяющих его функции и порядок обращения к его операциям.

Каждый интерфейс описывает механизм удаленного вызова компонентов, располагающихся в разных узлах сети или среды (сеть строится на основе стандартной семиуровневой модели открытых систем OSI). В рамках CBD реализована стратегия объединения «Каркас», обеспечивающая интеграцию программных компонентов в ИСУ и позволяющая отделить функции частей системы от управления, т.е. определять процедуры управления на любых более высоких уровнях.

С использованием методов сборочного программирования разработана прототипная версия ИСУ, обеспечивающая управление процессами функционирования обучающей веб-ИЭС на всех уровнях в контексте реализации типовых задач интеллектуального обучения.

Заключение

В настоящее время проводятся комплексные экспериментальные исследования прототипной версии ИСУ на основе серии имитационных экспериментов с применением разработанных и базовых средств и технологий интеллектуальной программной среды инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Список литературы

- [Алешенко и др., 2016] Алешенко А.С., Трембач В.М. Интеллектуальная обучающая система кафедры ВУЗа // Открытое образование. – 2016. – № 5. – С. 47-52.
- [Башлыков и др., 2025] Башлыков А.А., Еремеев А.П. Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в энергетике: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2025. – 351 с.
- [Болотова, 2012] Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.
- [Брусиловский, 1990] Брусиловский П.Л. Интеллектуальные обучающие системы // Информатика. Информационные технологии. Средства и системы. – 1990. – № 2. – С. 3-22.
- [Гаврилова, 2016] Гаврилова Т.А. Инженерия знаний. Модели и методы: учебник. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 324 с.
- [Клыков, 1974] Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. – М.: Энергия, 1974. – 136 с.
- [Лаврищева, 2025а] Лаврищева Е.М. Программная инженерия. Парадигмы, технологии и CASE-средства: учебник для вузов. 2-е изд., испр. – М.: Изд-во Юрайт, 2025. – 280 с.
- [Макаров и др., 2006] Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. – М.: Наука, 2006. – 333 с.
- [Поспелов, 1986] Поспелов Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
- [Поспелов, 2020] Поспелов Д.А. Ситуационное управление: новый виток развития // Мягкие измерения и вычисления. – 2020. – Т. 29, № 4. – С. 20-27.
- [Рыбина, 2008] Рыбина Г.В. Теория и технология построения интегрированных экспертных систем: монография. – М.: Изд-во «Научтехлитиздат», 2008. – 482 с.
- [Рыбина, 2014] Рыбина Г.В. Интеллектуальные системы: от А до Я: Серия монографий в трех книгах. Кн. 1. Системы, основанные на знаниях. Интегрированные экспертные системы. – М.: Научтехлитиздат, 2014. – 224 с.
- [Рыбина, 2023а] Рыбина Г.В. Интеллектуальные обучающие системы: анализ базовых архитектур и особенностей применения онтологического подхода (на примере опыта разработки и практического использования обучающих интегрированных экспертных систем) // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2023. – № 2. – С. 23-43.

- [Рыбина, 2023b] Рыбина Г.В. Интеллектуальные обучающие системы на основе интегрированных экспертных систем: учебное пособие. – М.: Директ-Медиа, 2023. – 132 с.
- [Сычев и др., 2025] Сычев О.А., Пенской Н.А., Терехов Г.В. Метод разработки интеллектуальных тренажеров на основе онтологии предметной области // Онтология проектирования. – 2025. – Т. 15, № 1(55). – С. 67-81.
- [Фролов, 2024] Фролов И.А. Онтологический подход в управлении адаптивной подготовкой групп специалистов // Онтология проектирования. – 2024. – Т. 14, № 2(52). – С. 205-216.
- [Цветков, 2023] Цветков В.Я. Ситуационное управление // Современные технологии управления. – 2023. – № 2(102). – С. 4-15.
- [Bonner et al., 2015] 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.
- [Carbonell, 1970] Carbonell J.R. AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer-assisted instruction // IEEE Transactions on Man-Machine Systems. – 1970. – V. MMS-11, No. 4. – P. 190-202.
- [Gribova et al., 2018] Gribova V.V., Ostrovskii G.E. An intelligent cloud service for training diagnostics skills // Biomedical Engineering. 2018. – Vol. 51, No. 6. – P. 416-421.
- [Nye, 2015] 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.
- [Rahman et al., 2016] 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.
- [Rybina et al., 2019] Rybina G.V., Blokhin Y.M. Methods and Software Implementation of Intelligent Planning for Integrated Expert System Design // Scientific and Technical Information Processing. – 2019. – Vol. 46, No. 6. – P. 434-445.
- [Rybina et al., 2022] Rybina G.V., Nikiforov A.Y., Slinkov A.A., Grigoryev A.A. Automated Formation of the Unified Ontological Space of Students' Knowledge and Skills to Implement Intellectual Tutoring Tasks Based on Tutoring Integrated Expert Systems // 2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). – 2022. – P. 1-6.
- [Rybina et al., 2023] Rybina G.V., Grigoryev A.A. Modern architectures of intelligent tutoring systems based on integrated expert systems: features of the approach to the automated formation of the ontological space of knowledge and skills of students // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2023. – Vol. 33, No. 3. – P. 491-497.
- [Rybina et al., 2024] Rybina G.V., Grigoryev A.A. Educational Design of Dynamic Intelligent System Prototypes Using Tutoring Integrated Expert Systems // 2024 7th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). – 2024. – P. 1-6.
- [Sosnovsky et al., 2008] Sosnovsky S., Mitrovic A., Lee D., Brusilovsky P., Yudelson M. Ontology-based integration of adaptive educational systems // 16th International Conference on Computers in Education (ICCE 2008). – 2008. – P. 11-18.