

Н.В.СМИРНОВА**Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН****СЛЕДЯЩИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Рассматриваются компьютерные интерактивные системы обучения предметам естественно-научного цикла, включающие автоматические решатели задач по этим предметам, а также соотносящие шаги найденных ими решений с шагами решения обучаемого для проверки его решения на завершенность и правильность. Используемые в автоматических решателях средства логического вывода и методы теории принятия решений применяются также для автоматического планирования действий системы в ответ на действия обучаемого. В качестве систем такого типа рассмотрены программные продукты, в основе которых лежат когнитивные архитектуры и/или автоматическое доказательство теорем. В их числе – интеллектуальная обучающая система «Волга».

интеллектуальные обучающие системы; автоматическое доказательство теорем; когнитивные архитектуры

ВВЕДЕНИЕ

Стремительный процесс информатизации общества и всех сфер деятельности человека не мог не повлиять на традиционное образование во всех странах. В учебном процессе школ и вузов начали использоваться обучающие программы, различные мультимедийные средства, появилась новая форма обучения – дистанционная.

Доля учебного времени, в котором задействуются информационные технологии, неуклонно возрастает. Одной из причин является то, что в традиционной технологии обучения в классах и аудиториях высших учебных заведений обучаемые учатся по одному и тому же учебному плану, в едином темпе. В отличие от этого, обучение с использованием достаточно продвинутых компьютерных технологий - разного рода интеллектуальных обучающих систем (ИОС) - позволяет адаптировать учебный процесс к индивидуальным особенностям студента, не отвергая живого слова учителя, а в дополнение к нему. Эта адаптация может включать, например, постоянный подбор и организацию структуры следующей порции учебного материала – в зависимости от того, какие компоненты знания и процедуры изучаемого предмета и насколько хорошо были усвоены обучаемым. Также могут учитываться его эмоциональное и когнитивное состояние, мотивация к обучению, учебные цели (подготовка к итоговому экзамену по предмету или изучение полного курса «с нуля», в индивидуальных формах и темпе). С помощью интеллектуального механизма подсказок система может поддерживать обучаемого в процессе выполнения заданий, ускоряя его обучение, сохраняя положительную мотивацию обучения, согласуя персонализацию учебы с общим планом и программой накопления и усвоения знаний.

В последние двадцать лет в мире появилось немало интеллектуальных обучающих систем, в

том числе доступных он-лайн [1]. Некоторые из них были коммерциализированы. Одним из лидеров, например, может быть названа компания CarnegieLearning, продающая ИОС для изучения математики сотням школ в США. В России, к сожалению, такие разработки ведутся пока еще в сравнительно небольших масштабах и зачастую не доходят до практического применения. Целью данного обзора является раскрытие основных тенденций разработки и перспектив развития конкретного типа ИОС с рассмотрением проектов, над которыми в мире ведется работа.

1. АРХИТЕКТУРА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ «ВОЛГА» И ДРУГИХ ИОС

Отметим, что современные информационные технологии обучения ориентированы в основном на предоставление обучаемым электронных версий учебного материала в гипертекстовой форме, возможно, с использованием мультимедийных средств, а также на обеспечение удаленного доступа к этим информационным ресурсам и дистанционного взаимодействия с учителем и другими обучаемыми, в том числе в режиме реального времени. В существенно меньшей степени пока используются достижения искусственного интеллекта. Данные замечания касаются систем управления обучением (Learning Management Systems) и учебным контентом (LCMS), как коммерческих, так и систем с открытым кодом (например Moodle [2]). К более интеллектуальным обучающим системам относится, например, проект [3].

В архитектуре ИОС теперь различают разные структурные и функциональные компоненты. Так, в [3] выделяются модель предметной области, решатель, модель обучаемого, модель коммуникации, педагогическая модель. В части 3 данной статьи дается описание ИОС «Волга». Архитектура этой системы, помимо вышеописанных компонент, со-

держит ряд других модулей, работающих как в режиме он-лайн, так и в офф-лайн (рис. 1). Центральное место в ней занимает модуль управления процессом обучения, который использует для планирования и выбора действий системы логические решатели и методы теории принятия решений. Для генерации новой порции учебного материала и помощи обучаемому этот модуль задействует знания о предметной области и педагогическую модель. Также он использует сведения об обучаемом, которые хранятся в модели обучаемого и извлекаются по запросу анализатором действий. Разумеется, в системе могут быть представлены знания о нескольких предметных областях.

нии учебного процесса после каждого действия обучаемого, но предпринимает ответные действия лишь в те моменты времени, которые определяются модулем управления учебным процессом, таким образом предоставляя обучаемому возможность самостоятельной работы. Модуль интерфейса передает анализатору сведения о действиях обучаемого и выполняет действия, запланированные модулем управления процессом обучения. Он также задействует коммуникационную модель, в которой содержится информация для управления диалогами на естественном языке, для управления представлением учебного материала в зависимости от предпочтений обучаемого и т.д.

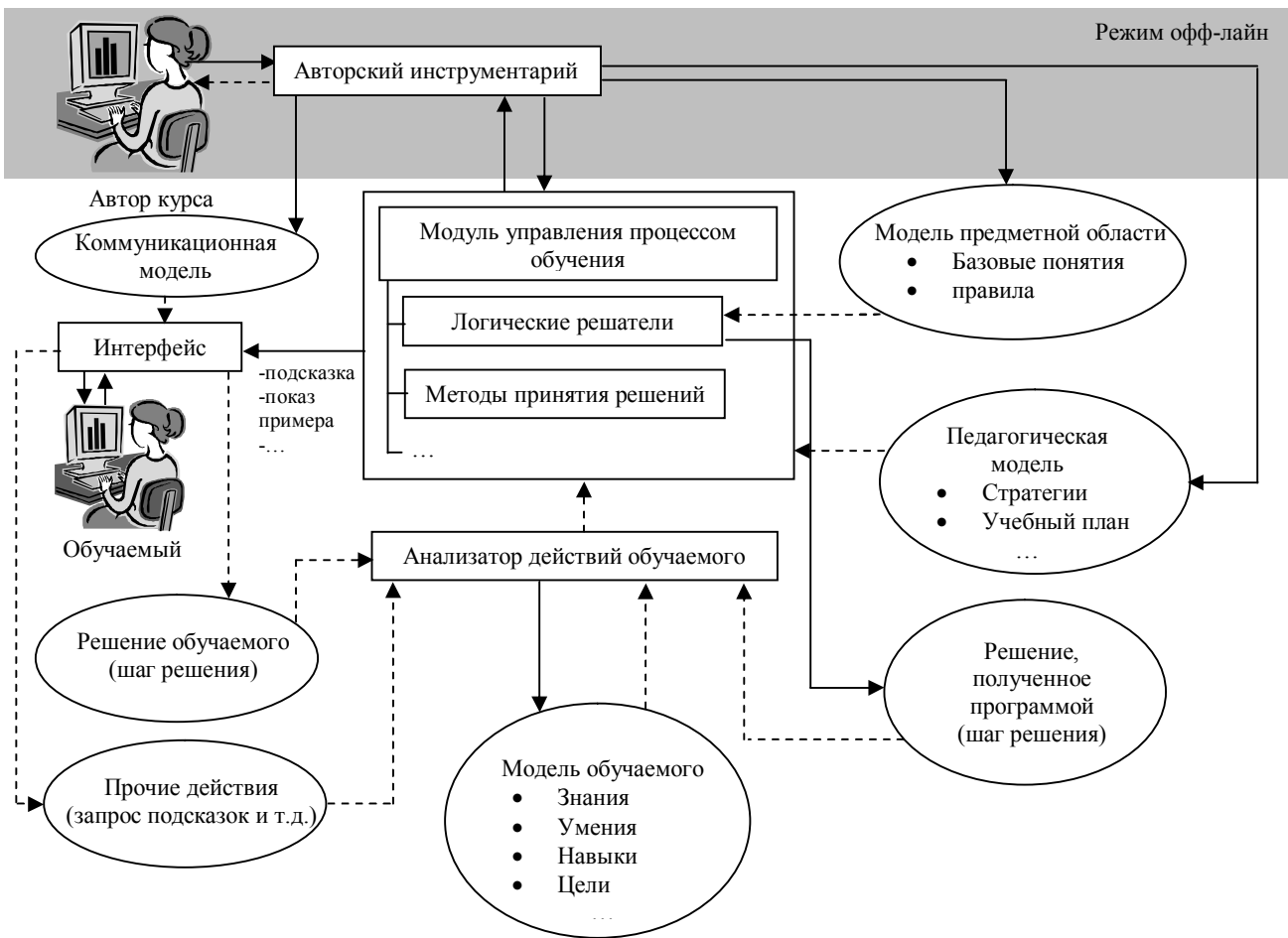


Рис. 1. Архитектура ИОС «Волга»

Другим и не менее важным применением логических решателей является нахождение решений задач из учебной программы. Логические решатели также используются для нахождения решений задач. Анализатор действий обучаемого соотносит шаги найденного им решения с шагами решений автоматических решателей для проверки решения обучаемого на завершенность и правильность (отсюда и название рассматриваемого типа систем – «следящие»). Он обрабатывает и другие действия обучаемого, например, запросы подсказок. Система обновляет хранящиеся у нее сведения о состоя-

Знания о предметной области включают:

- 1) базовые понятия,
- 2) алгоритмы и процедуры.

Структуру базовых понятий удобно представлять с помощью онтологий или структурных диаграмм. Каждая новая порция учебного материала несет в себе какую-то часть этих знаний. Будем использовать термин «учебная единица» для обозначения элементарных частей, из которых состоит порция учебного материала. Учебная единица характеризуется типом и представлением (рис. 2). Одному типу учебной единицы может соответствовать несколько представлений (например, теорети-

Н.В.Смирнова • Следящие интеллектуальные обучающие системы: состояние и перспективы

ческий материал может быть представлен с помощью текста, формул и чертежа).

Авторский инструментарий предназначен для «наполнения» обучающей системы. Его используют учителя и методисты в режиме офф-лайн при создании курса. В идеальном случае авторы курса не только наполняют базу знаний о предметной области, но и задают параметры будущей работы системы (например, ожидаемую полезность учебных стратегий в различных контекстах), участвуя в диалогах, инициируемых в интерактивном режиме

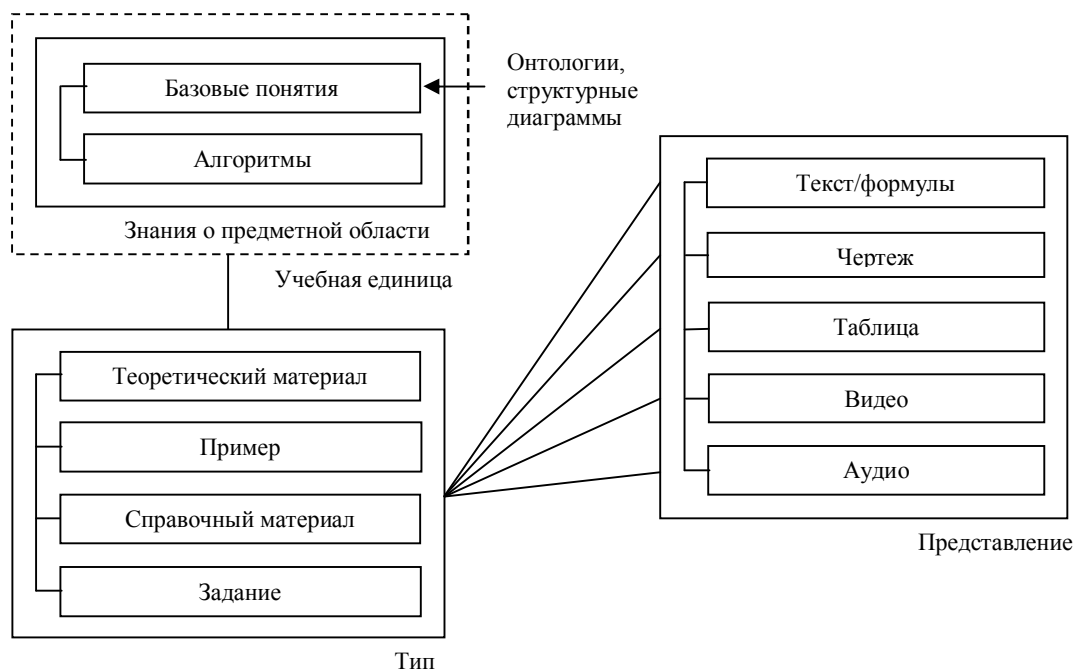


Рис. 2. Типизация и представление учебных единиц

модулем управления процессом обучения, причем по сценариям, автоматически синтезируемым по ходу диалога.

При разработке каждого из перечисленных компонентов ИОС задействуются различные отрасли науки и предметные области. Так, для создания педагогической модели и модели обучаемого необходимо учитывать исследования в педагогике и педагогической психологии, когнитологии. Средства искусственного интеллекта используются при формировании модели обучаемого, педагогической модели, осуществлении выбора педагогического действия, построении решателей и в работе коммуникационной модели. Также необходимо обеспечивать удобство использования, разнообразие видов учебных ресурсов в составе системы, стабильность и надежность работы (особенно в том случае, когда обучающая система доступна в режиме он-лайн и должна обрабатывать сотни запросов в секунду), что является прерогативой компьютерных наук.

При проектировании ИОС необходимо опираться на педагогический базис для выработки учебных стратегий обучающей системы. К настоя-

щему моменту насчитывается более пятидесяти видов педагогических теорий (см. например, [4]) с разной историей успешного применения на практике. Так, теорию психологического конструктивизма Пиаже критикуют за то, что ее внедрение в школе вызвало падение уровня математической грамотности в США [5].

Разработка ИОС в настоящее время – дорогостоящий и длительный процесс. Одной из причин является слишком жесткая связь между компонентами системы – изменение даже небольшой части

одного зачастую влечет широкомасштабное изменение других компонентов и протоколов взаимодействия. Другая причина – длительность процесса наполнения курса. Поэтому к программному обеспечению, реализующему ИОС, выдвигается ряд требований, включающий:

- интероперабельность программных модулей, т.е. способность взаимодействовать с другими (внешними) системами (например, вычислительными пакетами);
- повторная используемость программных модулей, т.е. компонент, созданный одним разработчиком, должен быть доступен для использования другим разработчиком (как объект в технологическом стандарте для создания программного обеспечения СОМ);
- повторная используемость учебных единиц: автор курса может захотеть воспользоваться уже имеющимися учебными единицами, разработанными сторонней организацией (бесплатно или на коммерческой основе);
- долговечность программных модулей: они должны быть спроектированы с учетом возможности внесения изменений с минимальным перепрограммированием;
- эффективность взаимодействия программных модулей; это требование особенно важно для

ИОС, работающих в режиме он-лайн, к которым теоретически могут подключаться сотни пользователей.

Для того, чтобы удовлетворить поставленным требованиям, ряд организаций ведет работы по стандартизации обучающих технологий. Ведущая роль среди этих организаций принадлежит аккредитованному IEEE комитету P1484 LTSC, проекту Европейского союза ARIADNE, а также американскому проекту IMS [6]. Разрабатываемые ими стандарты и спецификации являются нейтральными с точки зрения педагогики, предметной области и технической реализации.

Кроме того, перспективны мультиагентные архитектуры, позволяющие достичь долговечности программных модулей и увеличения эффективности их взаимодействия. Под агентами понимаются программные модули системы. В работе [7] предлагается т.н. холонная мультиагентная архитектура, в которой агенты объединяются в структуры (называемые холонами), интерпретируемые внешним наблюдателем как единое целое. Формируемые структуры иерархичны: каждый холон может войти в состав холона более высокого уровня и состоять из холонов более низкого уровня.

В качестве холона наиболее высокого уровня выступает агент интерфейсов, реализующий функции коммуникационного модуля. Одним из его суб-холонов является педагогический холон, состоящий из агента учебных стратегий, агента учебного расписания, агента-генератора заданий и агента-генератора ответной реакции системы. Другим суб-холоном является холон, моделирующий обучаемого, состоящий из собственно агента моделирования и агента оценки знаний. Модуль экспертных знаний представлен в виде отдельного агента-эксперта.

Каждый из упомянутых агентов, в свою очередь, может быть заменен холоном, например, агент-генератор заданий может быть заменен холоном, состоящим из генератора задач, генератора отдельных вопросов и генератора тестов, а агент моделирования – холоном, состоящим из агента оценки психологического состояния обучаемого, агента оценки когнитивных навыков и агента, отслеживающего историю взаимодействий обучаемого с системой. Высокоуровневые холоны обмениваются сообщениями трех типов: 1) запрос на выполнение задания, 2) результат запроса, 3) информационное сообщение. Последний тип сообщений применяется в случае, когда агент получил новое знание или изменил уже существующее знание и информирует об этом всех агентов, заинтересованных в получении сведений об изменениях обстановки.

Агенты более высокого уровня реализованы как холоны, состоящие из головного агента и неограниченного числа суб-холонов. Каждому холону более высокого уровня приписывается набор предопределенных заданий. Некоторые задания выполняются головным агентом, другие – суб-

холонами. Головной агент координирует действия суб-холонов с помощью централизованного планирования и распределения рабочих заданий.

Мультиагентная архитектура хорошо подходит для эффективного распределения рабочих заданий и обмена результатами между программными модулями. Если какой-то холон должен выполнить конкретное задание, то он декомпозирует это задание на ряд субзаданий, которые распределяются между холонами, входящими в его состав. Последние, в свою очередь, также могут декомпонировать свои задания на суб-задания и распределить их между своими суб-холонами и т.д. Кроме того, разбиение программных модулей на менее крупные и независимые части облегчает внесение изменений в программную реализацию системы и повышает возможность их повторного использования в других системах.

В области создания ИОС в настоящее время ведутся работы по различным направлениям. Среди них можно упомянуть исследования по поддержке диалога с пользователем на естественном языке (см. например, [8], [9]), по персонифицированной генерации учебных курсов (см. например, [10]), по использованию игровых элементов в обучении (см. например, [11], [12]) и т.д. В связи с предложенной выше архитектурой (рис. 1) нас будут интересовать следующие ИОС, к которым относятся системы, основанные на когнитивных архитектурах (они будут рассмотрены в части 2) и на автоматическом доказательстве теорем (часть 3).

2. СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА КОГНИТИВНЫХ АРХИТЕКТУРАХ

Еще в 50-е гг. были предприняты различные попытки создать электронные модели обучения и остальных познавательных процессов. Несмотря на то, что в конце 60-х гг. они были отвергнуты как «упрощенные» и «неудовлетворительные с точки зрения психологии» [13], эти исследования оказали значительное влияние на разработку обучающих систем – некоторые модели используются в успешных современных ИОС.

Когнитивные модели обучения значительно различаются по степени общности и уровню. На одном конце шкалы находятся такие когнитивные архитектуры, как ACT-R (Adaptive Control of Thought-Rational, [14]) и Soar (название первоначально являлось аббревиатурой от State, Operator And Result, см. например, [15]). Эти модели предназначены для объяснения процессов хранения и извлечения любого вида информации. На другом конце шкалы находятся модели, объясняющие конкретные стратегии, используемые людьми для получения конкретных видов знаний, например, изучение «черного ящика» методом проб и ошибок [16].

В модели адаптивного контроля поведения (ACT-R) рассматриваются следующие типы памяти: 1) рабочая, содержащая информацию, необходимую для текущей активности, 2) декларативная,

содержащая знания типа «условие-утверждение», 3) процедурная, содержащая знания типа «условие-действие». Постулируется существование трех стадий приобретения навыка: когнитивная, ассоциативная и автономная. На когнитивной стадии человек запоминает набор фактов, релевантных навыку (информация поступает в декларативную память). На ассоциативной стадии происходит накопление опыта реализации навыка (посредством упражнения), исправляются ошибки, формируются процедуры – правила поведения, включающие в себя разные аспекты ситуации, в которой они могут быть реализованы (информация поступает в процедурную память). На третьей стадии процедура становится автоматизированной, возрастает скорость и точность действий, исчезает сознательный контроль [17].

На основе теории АСТ-R в Carnegie Mellon University были созданы модели решения задач по алгебре, геометрии, основам теории вероятности и статистики, дискретной математики. Навыки решения задач в этих моделях представлены в виде набора независимых продукционных правил вида «если-то» [18]. Утверждение «ЕСЛИ целью является разрешить уравнение относительно X и уравнение имеет вид $aX=b$, ТОГДА раздели обе части уравнения на a , для того, чтобы изолировать X » является примером такого правила [19].

Такая когнитивная модель ориентирована на решение тех же задач, которые решают студенты и теми же способами (включая неправильные). Она используется в следующих случаях: 1) отслеживание решения студента, 2) отслеживание уровня умений студента. В первом случае путь решения студента соотносится со всеми решениями, найденными системой [19]. Каждому решению соответствует план, имеющий вид иерархии целей [18]. Когда студент выбирает для работы некоторый элемент меню, он неявно выбирает одну из целей в плане, связанную с этим элементом. Система анализирует продукционные правила на применимость к этой цели и генерирует набор из одного или нескольких применимых правил. Затем действия студента сравниваются с действиями, которые были бы следствиями сгенерированных системой правил. Если результат сравнения положителен, то делается вывод о том, что студент использовал то же когнитивное правило, что и система. Неправильные или непонятые системой ответы студента сопровождаются цветной раскраской на экране соответствующих формул. По запросу студента доступно три вида помощи: 1) напоминающая о текущей цели, 2) общее описание того, как можно достичь ее, 3) описание конкретного шага решения, который необходимо выполнить (самая сильная подсказка).

Для отслеживания уровня умений используется оверлейная модель обучаемого (это модель, которая предполагает, что знания (умения) обучаемого являются подмножеством знаний (умений) о пред-

метной области, имеют ту же структуру и отличаются лишь тем, что менее полны [20]). Умения обучаемого моделируются снова как продукционные правила, имеющиеся в когнитивной модели, помеченные маркерами «выучено» или «не выучено». Процесс забывания не учитывается: правила не возвращаются к состоянию «не выучено», если они достигли состояния «выучено». Маркеры обновляются с помощью вероятностного механизма – байесовой процедуры [19].

Данные модели были реализованы в составе коммерческой разработки Cognitive Tutor, включающей: Algebra I, Geometry, Algebra II, Integrated Mathematics I, Integrated Mathematics II, Integrated Mathematics III. Педагогический базис этих систем включает концепцию обучения на собственном опыте: студенты погружаются в ситуации, в которых могут быть применены изучаемые концепции и навыки и может быть проведено обучение, направленное на разрешение данных ситуаций [21].

Студентам предоставляются практические задачи, сформулированные в словесном виде, а также специальные таблицы, предназначенные для ввода данных. Доступен редактор чертежей, словарь математических терминов, последовательности подсказок. Присутствуют диаграммы, отображающие уровень навыков, полученных студентами, а инструментарий учителя позволяет ему: отслеживать прогресс учебного процесса каждого студента и распечатывать соответствующие отчеты, добавлять/удалять студентов-пользователей системы, изменять положение студента в учебном расписании [22].

Эти системы оказались довольно успешными на практике. Известно, что они охватывают большое число ошибок, встречающихся у студентов. Подсказки и ответная реакция уменьшают утомляемость студентов, придают им уверенность в своих силах. Между тем, степень детализации ответной реакции может быть слишком высокой (соответствуя уровню продукционного правила), отчего возникает опасность «не увидеть леса за деревьями» [1]. Так как к каждой возможной ошибке (из числа предусмотренных в системе) прикреплена конкретная подсказка, то каждый студент, который ее делает, получает одно и то же сообщение независимо от количества раз ее проявления и остальных совершенных им ошибок [23].

Cascade (см. например, [16]) – пример высокоуровневой модели процесса приобретения когнитивных навыков в области теоретической механики. В ассоциативной памяти модели хранятся тройки «задача->цель->правило», содержащие сведения о том, что использование конкретного правила приводит к успешному достижению конкретной цели в конкретной задаче.

Была разработана система Andes, унаследовавшая архитектуру правил из Cascade. Ее база знаний включает следующие разделы физики: «ста-

тика», «кинематика», «динамика», «работа и энергия» [24].

Система обладает авторским инструментарием, который предназначен для обновления базы задач [25]. В ней реализован синтаксический контроль вводимых студентом уравнений. Используется простой прием, называемый «*color by numbers*». В формулу, введенную обучаемым, подставляются пробные значения содержащихся в ней переменных. Далее выполняется проверка на равенство обеих частей получившегося выражения. Известно, что при такой проверке некорректность подвыражений в уравнении студента может быть не выявлена, если, например, они умножаются на выражение, которое равно 0. Но такой случай слишком редко встречается на практике (1 случай среди 5766 решений задач) и им пренебрегают.

Система имеет много обработчиков ошибок, которые пытаются отредактировать введенные студентом данные и затем использовать «*color-by-numbers*». Если в результате этих действий получается неравенство, то конструируется соответствующая последовательность подсказок. Зачастую одно и то же редактирование производится различными обработчиками ошибок, но на эти обработчики ошибок накладываются дополнительные условия. Например, для уравнений зачастую характерны ошибки в знаках, поэтому есть обработчик ошибок, последовательность подсказок которого начинается с утверждения «проверьте знаки». У него низкий приоритет. Есть обработчик ошибок, который проверяет на специальные типы ошибок «на знак», имеющий более высокий приоритет. Andes не пытается сразу найти все ошибки во введенных студентом данных. Если ни один из обработчиков ошибок не выявил ошибок в уравнении, то Andes спрашивает у студента, какое уравнение он хотел ввести и отображает иерархическое меню. В нем студент находит тот закон, который хотел применить, и выбирает его. Если закон неприменим, система предлагает подсказать следующий шаг.

Система позиционируется как минимально инвазивная – никаких значительных отступлений от школьной программы. Она помогает студенту выполнять домашние задания. Заставляет студентов вводить решение полностью, включая изображение на чертеже векторов, систем координат, определения переменных и ввод уравнений. Система старается сделать так, чтобы студент по возможности сам исправлял свои ошибки: сообщение об ошибке выдается лишь тогда, когда ошибка скорее всего является результатом опечатки, невнимательности. Признаками такой ошибки являются незаполненное поле в диалоговом окне, использование неопределенной переменной в уравнении. Когда ошибка не распознается как результат опечатки, система просто подкрашивает выражение, в котором содержится ошибка, в красный цвет. Студенты могут запрашивать помощь для исправления введенного значения или подсказки следующего шага.

Два последних вида помощи обычно вызывают последовательности подсказок. Подсказки отображаются в нижнем левом окне, другие окна в этот момент становятся неактивными и окрашиваются в серый цвет. Большинство последовательностей подсказок состоят из трех подсказок: указывающей, обучающей и подсказки конкретного шага. Указывающая подсказка направляет внимание студентов на место, где содержится ошибка: она полезна, если студент ошибся по причине своей невнимательности. Обучающая подсказка «если Вы пытаетесь вычислить...» предоставляет релевантную порцию знаний. Такие подсказки авторы стараются делать как можно более короткими, так как студенты обычно не читают длинные подсказки. Подсказка конкретного шага (например, «замените $\cos(x)$ на $\sin(x)$ ») указывает студенту, что именно нужно сделать.

Подсказка следующего шага включает указание на один из шагов в графе решений задачи самой системы. Выбор шага осуществляется следующим образом: идя по графу решений сверху вниз, выбрать первый шаг, который еще не осуществил студент, если на этом пути встретится ветвление, то пойти по той ветке, которая имеет наибольший процент пересечений с уже введенными студентом формулами и представляет собой наиболее короткое решение.

Andes не поддерживает индивидуализированный подбор учебного материала, поэтому у нее отсутствует модель обучаемого. По окончании решения задачи Andes вычисляет и отображает оценку студента. Эта оценка зависит от количества правильных ответов, из нее также вычитаются баллы за полученные студентом подсказки конкретного шага. Вычитание баллов помогает преодолеть проблему неправильного использования подсказок конкретного шага: ориентированные на достижение решения, а не на получение знаний студенты могут быстро опробовать остальные подсказки, для того, чтобы быстрее получить решение; в то же время студентам полученные оценки не безразличны, даже если оценки демонстрируются только ученику и не влияют на академическую успеваемость.

Одной из основных учебных целей Andes является усвоение обучаемым алгоритмов решения задач по физике. В когнитивной науке до сих пор нет консенсуса в том, какой вид имеют эти алгоритмы, каким образом они должны усваиваться. Понятно лишь, что 1) решения студентов должны базироваться на основных принципах (законах), 2) роль этих принципов в решении задачи должна быть раскрыта. Было испытано несколько подходов; разработчики остановились на том, что студентов нужно побуждать к записи в явном виде основного физического закона перед применением его следствий. Если студенты используют его «без предварительного объявления», то им выдается соответствующий комментарий и они теряют баллы в своей оценке.

К достоинствам системы можно отнести сравнительно низкие затраты на ее разработку и поддержку. Студенты более эффективно делают домашнее задание, пользуются системой подсказок, не злоупотребляя ею. Для того чтобы включить систему в свой учебный план, преподаватели не должны «ломать» свой курс. Проведенные исследования показывают, что применение Andes приводит к увеличению оценки, средней по группе студентов, пользовавшихся системой [26]. Основным недостатком системы является (подобно Cognitive Tutor) то, что действия студентов не всегда могут быть поняты; когда система заставляет студента придерживаться одного из путей решения, который найден ею автоматически или заложен в нее автором курса, это препятствует процессу изобретения собственных стратегий, их проверки и исправления. Кроме того, такие системы часто критикуют за то, что они заставляют студентов вводить информацию, которую студенты стараются держать в рабочей памяти, что может препятствовать тренировке памяти. Наконец, студенты привыкают работать с подсказками и при их отсутствии впоследствии начинают работать хуже, чем студенты, не пользовавшиеся системой, поэтому предоставление подсказок и исправление ошибок должно «угасать» по мере роста демонстрируемого уровня знаний (навыков) студента [27].

Когнитивные архитектуры также применяются для создания виртуальных агентов, интегрированных в интерактивные обучающие среды. Эти агенты выступают в качестве гидов по игровому миру, наставников, противников и соратников. Такой является когнитивная архитектура Soag, которая преимущественно использовалась для обучающихся сред военной направленности [28].

3. СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА АВТОМАТИЧЕСКОМ ДОКАЗАТЕЛЬСТВЕ ТЕОРЕМ

Интересной и недавно разработанной системой, основанной на автоматическом доказательстве теорем, является Why2-Atlas. Эта система содержит 7 вычислительных задач по вводному курсу механики. Дидактический цикл выглядит так: система дает ученику одну из задач и просит его ввести ответ с объяснением. Затем она обсуждает с ним этот ответ и, после обсуждения, как правило, просит уточнить объяснение. Последний шаг повторяется, пока не будут устранены все недочеты в ответе обучающегося [29].

Ученик дает ответ и объясняет его в языке деловой прозы. Блок интерпретации предложений конвертирует каждое предложение, введенное обучающимся, в набор формул первопорядковой логики.

Блок интерпретации предложений выполняет следующую последовательность шагов:

1) поиск введенных обучающимся слов в лексическом словаре и, при необходимости, исправление

орфографических ошибок; удаление префиксов и суффиксов для выявления корней слов;

2) синтаксический анализ и формирование логических утверждений. С отклоняющимися от грамматики предложениями блок интерпретации справляется путем пропуска слов, вставки отсутствующих категорий и ослабления грамматических ограничений.

В случае, если полный анализ предложения не смог быть выполнен, подключаются дополнительные средства: генетические алгоритмы, методы классификации текстов (латентный семантический анализ, наивный байесовский классификатор).

Блок интерпретации рассуждений ищет доказательство на основе полученных логических форм. Поиск доказательства происходит с помощью решателя Tacitus-lite+. Базой его знаний является набор хорновских формул, который включает как правильные утверждения, так и ошибочные. Все цели в тексте доказательства имеют цену. Tacitus-lite+ может не доказывать цель, а предположить, что она доказуема, и перейти к следующей. В этом случае стоимость цели добавляется к общей стоимости доказательства. Tacitus-lite+ предпочитает доказательство с наименьшей стоимостью. Этот механизм позволяет системе распознавать ошибочные утверждения обучающегося.

После того, как доказательство найдено, педагогический блок анализирует его на предмет недостатков. К примеру, недостатком может быть заблуждение («более тяжелые предметы быстрее падают») или неявное использование утверждений, которые не были объяснены (или даже упомянуты) или объяснены недостаточно полно. Каждый выявленный недостаток становится в очередь педагогических целей. Затем педагогический блок выбирает из очереди цель с наибольшим приоритетом и предпринимает действия для ее достижения. Приоритеты упорядочены следующим образом: 1) исправить заблуждения, 2) устранить противоречия, ошибки и некорректные допущения, 3) добавить в решение отсутствующие обязательные утверждения. Так как большинство объяснений студента характеризуются отсутствием определенного ряда обязательных утверждений, выбор того, какое из них добавить раньше, определяется списком, задаваемым вручную для каждой задачи.

Для достижения педагогических целей вида 1) и 3) предназначены специальные диалоги, формируемые диалоговым менеджером АРЕ. Они управляются с помощью конечных сетей, чьи узлы соответствуют вопросам, предназначенным для учеников. Выходящие из узлов дуги соответствуют ожидаемым ответам. Вопросы формулируются таким образом, чтобы ученики давали короткие ответы, которые могут быть соотнесены с ожидаемыми ответами с помощью простых методов [30].

Данная система была создана для исследования достоинств и недостатков обучения, использующего методы обработки естественного языка. Иссле-

дования показали, что ученики, использовавшие при обучении данную систему, и ученики, обучавшиеся в классе, одинаково хорошо выучили представленный им материал [31]. Очевидно, что адекватность работы системы сильно зависит от полноты базы хорновских формул, а также от проработанности специальных диалогов: обе эти задачи являются достаточно ресурсозатратными. Методы, развиваемые в описанной ниже ИОС «Волга», позволяют автоматизировать формирование сценариев диалога по ходу решения задачи.

ИОС «Волга», разрабатываемая в ИПУ РАН в сотрудничестве с КГТУ и другими вузами, позволяет осуществлять углубленную индивидуализацию обучения на основе логико-оптимизационных методов автоматизации планирования действий ИОС с веб-интерфейсом для удаленных пользователей, разработанным в КГТУ (Сиразетдинов Б.Р.). В рамках данного проекта (см. [32] - [39]) разрабатываются и внедряются оригинальные методы дедукции, абдукции, решения логических уравнений и многокритериальной оптимизации. Для автоматизации логического вывода используются язык и исчисление ПО-формул ([40], [41]), а также обратный вывод по правилу ω .

Система содержит компьютерные программы (решатели) автоматического решения следующих школьных и вузовских задач:

- 1) вычислительного типа «дано-требуется»;
- 2) на доказательство предъявленного утверждения;
- 3) на поиск условий разрешимости задачи того или иного типа и др.

Перечисленные задачи встречаются прямо в учебных предметах естественно-научного цикла, имея при этом разную степень сложности (от школьного до магистерского уровня). Вместе с тем, по своему назначению или генезису эти задачи имеют также и другую, весьма существенную в данном проекте роль, поскольку в проекте к ним оказывается целесообразным сводить ряд задач организации функционирования управляющей части разрабатываемой системы.

Действительно, задачи планирования взаимодействия обучающей системы с обучаемым (как последовательности действий обеих сторон с целью эффективного приобретения знаний обучаемым) допускают ту или иную степень логической формализации как одной из возможных основ построения знаниевых систем. Применение подсистемы логического (конструктивного) поиска выводов позволяет обеспечить интеллектуальность интерактивного взаимодействия системы с обучаемым: в случае когда обстоятельства, описывающие текущую ситуацию, имеют вид произвольных ПО-формул, а цель является квазихорновской формулой (квазихорновские формулы были введены в [40]), любой вывод позволяет выстраивать цепочку действий как управление процессом обучения. В отличие от [42], язык ПО-формул более выразителен, кроме того, соответствующее исчисление ис-

пользуется для пошагового мониторинга действий обучаемого.

Для разделов учебных предметов, допускающих высокий уровень формализуемости, обеспечивается возможность создания и применения указанных решателей по их прямому назначению - для автоматического решения задач в рамках рассматриваемого учебного предмета, с объяснением промежуточных шагов автоматически найденного решения или контролем того хода решения задачи, который вырабатывается обучаемым.

Метазнания о компетенции обучаемого первоначально формируются путем диагностирования обучаемого с помощью тестов, когда осуществляется испытание обучаемого на знание определений, правил, исключений и т.п., а также на умение выполнять простейшие или более сложные упражнения. При этом предполагается последующее итеративное уточнение компетентностной модели обучаемого по результатам его ответов в ходе решения задач после изучения им очередной порции материала, предложенной ему с учетом достигнутой компетенции.

С учетом проблематики проекта решающее значение имеет применение таких логических средств, которые характеризуются [40,41]:

- 1) крупноблочностью представления знаний;
- 2) неразрушением эвристической структуры знаний;
- 3) совместимостью логики с эвристиками и дедукции с абдукцией;
- 4) конструктивностью и немонотонностью семантик используемых логик;
- 5) применением в языке как булевских переменных, так и предикатов;
- 6) допущением использования естественно-языковых вставок в рамках концепции «надежной обработки ненадежных текстов».

Знания о предметной области, которые использует решатель в настоящий момент, охватывают некоторые разделы геометрии и математической статистики. Решатель участвует в проверке решения студента на завершенность и в генерации подсказок. В первом случае среди найденных автоматически вариантов решений ищутся совпадающие с решением студента или наиболее близкие к нему. Метрики близости могут быть разными; значение метрики используется для определения степени завершенности решения студента. Во втором случае повторяется такой же поиск; подсказывается первый незавершенный шаг из найденного решения. Используются последовательности подсказок. Первая подсказка сообщает, что нужно найти: «попробуйте найти высоту, опущенную на сторону c ». Вторая подсказка уточняет, как это можно сделать: «попробуйте найти высоту, опущенную на сторону c , через площадь треугольника S и сторону c ». Третья сообщает конкретную формулу, которую должен использовать ученик: «высота, опущенная на сторону c , определяется по формуле:

Н.В.Смирнова • Следящие интеллектуальные обучающие системы: состояние и перспективы

$$h_c = 2S/c \quad (4)$$

Разработана оверлейная модель обучаемого для поддержки индивидуализированного подбора задач. В предметной области (планиметрии) были выделены основные понятия, сгруппированные в тематические кластеры. Для каждого кластера ведется подсчет количества случаев использования учеником понятий из него при решении задач. Соответствующая векторная оценка представляет его уровень владения понятиями. Предполагается, что среди известных решений задачи ученик будет следовать по тому, которое будет для него наиболее понятным.

Каждое известное решение задачи характеризуется векторной оценкой, отображающей количество случаев использования в нем понятий из тематических кластеров. Близость между этой векторной оценкой и оценкой, представляющей уровень владения понятиями у обучаемого используется для определения понятности решения для обучаемого. Близость может быть вычислена с помощью разных метрик (например, можно использовать сумму модулей разностей между двумя векторными оценками). Выбор следующей задачи включает: 1) определение для каждой задачи в базе наиболее понятного решения («эталоны») из известных системы 2) выбор задачи, которой соответствует «эталон», наиболее понятный для ученика. Такой подбор задач более адекватен для слабых учащихся.

Сейчас разрабатывается новая компетентностная модель обучаемого совместно с дипломниками УдГУ Наумовым И.С. и Абдуловым А.В. В этой модели акцент ставится на умения и навыки обучаемого, а эмоциональное состояние и уровень мотивации пока не отслеживаются. Эта модель предназначена для: 1) планирования и выбора педагогических действий, 2) оценки уровня знаний и умений (навыков) обучаемого.

Отметим, что в моделировании действий обучаемого присутствует неопределенность: мы не можем точно определить, каково состояние студента, как оно изменится, насколько будут достигнуты поставленные учебные цели после выполнения выбранного действия, а тем более – в ближайшем будущем. Простейший пример: если студент дал правильный ответ, то причиной этому могло послужить как знание, так и удачная догадка (или, может быть, подсказка); если неправильный – мог совсем не знать или мог допустить опечатку. Поэтому в таких задачах целесообразно применять вероятностные оценки. Одним из наиболее подходящих механизмов такого оценивания являются байесовы сети [43].

Каждое действие системы (как и действие ученика) в общем случае задается двумя характеристиками: типом и базовыми понятиями предметной области. Например, система выдает ученику подсказку: «попробуйте применить второй признак равенства треугольников». Здесь типом действия

является подсказка, а базовым понятием – «второй признак равенства треугольников». Поэтому необходимо иметь некоторое представление о взаимосвязи базовых понятий предметной области. При формировании такого представления важно учесть их частичную упорядоченность. Например, если ученик не понимает, как складывать дроби, имеющие одинаковый знаменатель, то он тем более не понимает, как складывать дроби, имеющие разные знаменатели. В работе [44] авторы отмечают следующее: «Скорее мы предположим исключительно частичную упорядоченность элементов в предметной области, которой владеет учитель. Учитель предполагает, что студенты изучают элементы предметной области в приблизительно таком же порядке. Таким образом, можно измерить, что студент знает или не знает, исходя только из нескольких правильных или неправильных ответов. Эти ответы используются для того, чтобы определить критическую точку в частичной упорядоченности элементов, выше этой точки ученик скорее всего знает каждый элемент и ниже этой точки ученик вряд ли знает хотя бы один элемент».

Вышеописанные принципы – принцип неопределенности и учета частичной упорядоченности базовых понятий – легли в основу новой модели обучаемого разрабатываемой системы. С целью формулировки умений (навыков) был проведен анализ работ по существующим классификациям учебных целей и уровням усвоения знаний. Среди этих работ можно выделить работы [45] - [48], работы отечественных исследователей: [49] - [52] и других авторов. Рассмотренные классификации оказались слишком общими для непосредственного использования при формулировке умений (навыков) в учебном курсе по планиметрии. В поисках более конкретных классификаций были рассмотрены работы по методике преподавания математики и, в первую очередь, [53], [54]. На этой основе была предложена классификация математических задач, учитывающая характеристики условий задачи, типы навыков (умений), задействуемых при решении задачи, а также форму представления ответа.

В ИОС «Волга» для планирования и выбора действий помимо методов логического вывода полезны алгоритмы принятия решений, параметры которых синтезируются с помощью других методов в режиме офф-лайн. Например, с помощью специальной диалоговой процедуры [55] учитель может указать нетривиальные сравнения (например, вариант домашнего задания А лучше, чем вариант В при заданном конкретном состоянии знаний и умений (навыков) обучаемого и предполагаемых изменениях отдельных характеристик состояния обучаемого). Далее полученные сравнения могут быть использованы при синтезе функции эффективности, предложенной в работе [56]. Последующее использование такой функции в режиме он-лайн в описанном примере позволит автоматически опре-

делять наиболее подходящий вариант домашнего задания для обучаемого.

Во-вторых, для выбора действий полезны так называемые динамические сети принятия решений (Dynamic Decision Networks, DDN) (см. например, [57]), являющиеся расширением байесовых сетей. Теоретические основы DDN находятся на стыке теории вероятности и теории полезности. Такие сети содержат дополнительные узлы, соответствующие альтернативным действиям и их полезностям, а также позволяют осуществлять динамический мониторинг значений моделируемых величин.

Дальнейшее развитие ИОС «Волга» предполагает расширение пилотного набора предметных областей и включение в нее дисциплин магистерского и аспирантского уровней. Последнее основывается на современных и перспективных методах автоматизации научных исследований, которые здесь не рассматривались, однако примером таких методов является метод дооснащения, описанный в статье Г.М.Пономарева в данной книге.

ВЫВОДЫ

Рассмотрение наиболее известных, в том числе разработанных в последнее время следящих ИОС показывает: в этой области по-прежнему остается ряд проблем.

Во-первых, существующие педагогические методики плохо приспособлены для непосредственного их использования в интеллектуальных системах. Во всех рассмотренных ИОС в качестве педагогического базиса используются лишь несколько отдельных положений какой-либо теории. Среди них можно выделить следующие: 1) помогать обучаемому при выполнении им заданий только после его непосредственного запроса помощи, 2) использовать последовательности подсказок, при этом первая подсказка в последовательности должна быть наиболее абстрактной, а последняя – наиболее конкретной и представлять собой выполнение шага за ученика, 3) объем помощи, получаемый от системы, должен уменьшаться по мере появления свидетельств о росте уровня знаний и умений (навыков) ученика. На данный момент, насколько нам известно, не существует детально разработанных, педагогически обоснованных схем взаимодействия обучаемого и обучающей системы, которые могли бы лечь в основу механизма планирования и выбора действий. Необходима совместная работа специалистов по искусственному интеллекту и учителей-методистов.

Во-вторых, известные средства искусственного интеллекта имеют недостатки. Так, например, еще недостаточно разработаны методы и алгоритмы обработки естественного языка; алгоритмы распознавания эквивалентности формул. Возможности существующих автоматических решателей ограничены: например, автоматический решатель геометрических задач в ИОС «Волга» пока еще не находит решения задач, требующих эффективного сочетания использования отношений вычислимости и

составления и последующего решения вспомогательных алгебраических уравнений, необходимых для полного решения задачи.

Несмотря на указанные выше проблемы и ограничения существующих ИОС, их создание является весьма актуальным и перспективным направлением исследования и разработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Woolf B.P.** Building intelligent interactive tutors: student-centered strategies for revolutionizing e-learning / B.P. Woolf // USA, Morgan Kauffman. 2008. 467 с.
2. Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment [Электронный ресурс] // URL: <http://moodle.org/> (Дата обращения: 07.03.2010).
3. **Вашик К. (и др.)** Проект «IDEA». Введение в новое поколение программного обеспечения типа ICBI для передачи знаний и навыков с помощью экспертной системы / К. Вашик, В.Б. Кудрявцев, А.С. Строгалов // Dortmund: Link&Link Software GmbH. 1995.
4. **Kearsley G.** Explorations in Learning & Instruction: The Theory Into Practice Database. [Электронный ресурс] / G.Kearsley // URL: <http://tip.psychology.org/> (Дата обращения: 07.03.2010).
5. **Иванов Р.** Математический кризис североамериканских школ обрекает детей на неграмотность. Что делать? / Р.Иванов // URL: <http://theiq tutoring.com/Files/Publications/1/Math%20crisis.htm> (Дата обращения: 07.03.2010).
6. Стандарты информационных технологий в обучающих системах // Все о дистанционном обучении. URL: <http://dstudy.ru/?item=f8f8fe70-3cb8-407e-9f7e-c22a64c3e3e8> (Дата обращения: 22.03.2010)
7. **Lavendelis E.** Open Holonic Multi-Agent Architecture for Intelligent Tutoring System Development / E. Lavendelis, J. Grundspenkis // Proceedings of IADIS International Conference "Intelligent Systems and Agents 2008". Amsterdam, 2008. pp. 100-108.
8. **Evens M. (et al.)** CIRCSIM-Tutor: An Intelligent Tutoring System Using Natural Language Dialogue / M.W.Evens, S.Brandle, R.Chang, R.Freedman, M.Glass, Y.H.Lee, L.S.Shim, C.Woo Woo, Y.Zhang, Y.Zhou, J.A.Michael, A.A.Rovick // 12th Midwest AI and Cognitive Science Conference. Oxford OH, 2001. pp.16-23.
9. **Graesser A.** Autotutor: A tutor with dialogue in natural language / A. Graesser, S. Lu, G.T.Jackson // Behaviour Research Methods, Instruments & Computers. 2004. Vol. 36, № 2. pp. 180-192.
10. **Melis E.** ActiveMath: An Intelligent Tutoring System for Mathematics / E.Melis, J.Siekmann // Artificial Intelligence and Soft Computing – ICAISC 2004. Springer Berlin Heidelberg, 2004. Vol. 3070. pp. 91-101.
11. **Mott B.** Narrative-Centered Tutorial Planning for Inquiry-Based Learning Environments / B.W.Mott,

J.C.Lester // *Intelligent Tutoring Systems*. Springer Berlin Heidelberg, 2006. Vol. 4053. pp. 675-684.

12. **Johnson V.L.** Tactical language and culture training systems: using artificial intelligence to teach foreign languages and cultures / V.L.Johnson, A.Valente // *Proceedings of the 20th national conference on Innovative applications of artificial intelligence*. AAAI Press, Chicago. 2008. Vol.3. pp.1632-1639.

13. **Лихи Т.** История современной психологии / Т. Лихи // 3-е изд. СПб.: Питер. 2003. 448 с.

14. **Anderson J.** *Rules of the Mind* / J.R.Anderson // Psychology Press. 1993. 336 с.

15. **Laird J.** Soar: An architecture for general intelligence / J.E.Laird, A.Newell // P.S.Rosenbloom. *Artificial Intelligence*. 1987. Vol. 33, № 1. pp.1-64.

16. Цит по: **VanLehn K.** Rule-Learning Events in the Acquisition of a Complex Skill: An Evaluation of Cascade / K. VanLehn // *The Journal of the Learning Sciences*. 1999. Vol 8, № 1. pp 71-125.

17. **Морошкина Н.В.** Сознательный контроль в мнемических задачах и задачах научения / Н.В.Морошкина, В.А.Гершкович // *Вестник СПбГУ*. 2008. серия 12, выпуск 2. с. 91-100.

18. **Corbett A. (et al.)** Analyzing and Generating Mathematical Models: An Algebra II Cognitive Tutor Design Study / A. Corbett, M. McLaughlin, K. Christine Scarpinato, W. Hadley // *Intelligent Tutoring Systems: 5th International Conference*. New York: Springer. 2000. pp. 314-323.

19. **Corbett A. (et al.)** Modeling Student Knowledge: Cognitive Tutors in High School and College / A. Corbett, M. McLaughlin, K. C. Scarpinato // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 2000. Vol 10, № 2-3. pp 81-108.

20. **Sleeman D.H, Brown J.S.** *Intelligent Tutoring Systems* / D.H. Sleeman, J.S. Brown // London: Academic Press. 1982. pp 1-11.

21. **Koedinger K. R.** Cognitive tutors: Technology bringing learning sciences to the classroom / K.R. Koedinger, A.T.Corbett // *The Cambridge handbook of the learning sciences*. NY: Cambridge University Press. 2006. pp 137.

22. Сайт компании CarnegieLearning. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.carnegielearning.com/secondary-solutions/> (Дата обращения: 04.04.2010).

23. **Shute V.J.** *Intelligent Tutoring Systems: Past, Present and Future* / V. J. Shute, J. Psotka // *Handbook of research for educational communications and technology*. New York, NY: Macmillan. 1996. pp 570-600.

24. **Gertner A. (et al.)** Andes: An Intelligent Tutor for Classical Physics [Электронный ресурс] / A. Gertner, K. VanLehn, M.C. Wintersgill, D. J. Treacy, R. N. Shelby, K. G. Schulze // *The Journal of electronic publishing*. 2000. Vol 6, № 1. URL: <http://quod.lib.umich.edu/cgi/t/text/text-idx?c=jep;view=text;rgn=main;idno=3336451.0006.110> (Дата обращения: 09.03.2010).

25. **VanLehn K. (et al.)** The Andes Physics Tutoring System: Lessons Learned / K. VanLehn, C. Lynch, K. Schulze, J. A. Shapiro, R. Shelby, L. Taylor, D. Treacy, A. Weinstein, M. Wintersgill // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2005. Vol 15, № 3. pp 147-204.

26. **VanLehn K. (et al.)** The Andes Physics Tutoring System: Five Years of Evaluations / K. VanLehn, C. Lynch, K. Schulze, J. A. Shapiro, R. Shelby, L. Taylor, D. Treacy, A. Weinstein, M. Wintersgill // *Artificial Intelligence in Education*. Amsterdam. 2005. pp. 678-685.

27. **VanLehn K. (et al.)** Fading and Deepening: The Next Steps For Andes and other Model-Tracing Tutors / K. VanLehn, R. Freedman, P. Jordan, C. Murray, R. Osan, M. Ringenberg, C. Rose, K. Schulze, R. Shelby, D. Treacy, A. Weinstein, M. Wintersgill // *Intelligent Tutoring Systems: 5th International Conference*. Berlin: Springer-Verlag. 2000. pp 474-483.

28. **Kenny P. (et al.)** Building Interactive Virtual Humans for Training Environments [Электронный ресурс] / P. Kenny, A. Hartholt, J. Gratch, W. Swartout, D. Traum, S. Marcella, D. Piepol, M. Del Rey // In: *Proceedings of IITSEC, 2007*. URL: [Building Interactive Virtual Humans for Training Environments](http://www.itsec.org/BuildingInteractiveVirtualHumansforTrainingEnvironments) (Дата обращения: 07.04.2010).

29. **Makatchev M. (et al.)** Abductive Theorem Proving for Analyzing Student Explanations to Guide Feedback in Intelligent Tutoring Systems / M. Makatchev, P. W. Jordan, K.VanLehn // *Journal of Automated Reasoning*. 2004. Vol 32, № 3. pp 187-126.

30. **VanLehn K. (et al.)** The Architecture of Why-2 Atlas: A Coach for Qualitative Physics Essay Writing / K. VanLehn, P. W. Jordan, C. P. Rosé, D. Bhembe, M. Böttner, A. Gaydos, M. Makatchev, U. Pappuswamy, M. A. Ringenberg, A. Roque, S. Siler, R. Srivastava // *Intelligent Tutoring Systems*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. pp. 158-167.

31. **Jordan P.W.** A Natural Language Tutorial Dialogue System for Physics / P.W. Jordan, M. Makatchev, U. Pappuswamy, K. VanLehn, P.L. Albacete // In *Proceedings of FLAIRS*. Menlo Park, CA: AAAI Press. 2006. pp. 521-526.

32. **Vassilyev S. (et al.)** Adaptive Approach to Developing Advanced Distributed E-learning Management System for Manufacturing / S.N.Vassilyev, G.L. Degtyarev, V.V.Kozlov, N.N.Malivanov, S.R.Sabitov, R.A.Sabitov, R.D.Sirazetdinov // *Preprints of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*. (FR-C86). Moscow. 2009. pp. 2198-2203.

33. **Васильев С.Н.** Интеллектуальная обучающая система / С.Н.Васильев // *Материалы X Международной научно-технической конференции*. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.

34. **Смирнова Н.В.** К оптимизации альтернативных решений в интеллектуальных системах / Н.В.Смирнова // *Материалы X Международной научно-технической конференции*. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.

35. **Коноплев А.Н.** Персонализация человеко-машинного интерфейса обучающей системы с помощью имитации мимики учителя / А.Н.Коноплев // Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.
36. **Сабитов Ш.Р.** Решатель задач теории вероятностей и математической статистики / Ш.Р.Сабитов // Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.
37. **Сабитов Р.А.** Анализ подходов к компьютеризации обучения / Р.А.Сабитов, Ш.Р. Сабитов // Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.
38. **Суконнова А.А.** Автоматизация решения некоторого класса вычислительных задач / А.А.Суконнова // Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.
39. **Пономарев Г.М.** Системы автоматического доказательства теорем на основе исчисления позитивно-образованных формул / Г.М.Пономарев, А.Д.Чичигин // Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. 294 с.
40. **Васильев С.Н. (и др.)** Интеллектуальное управление динамическими системами / С.Н.Васильев, А.К.Жерлов, Е.А.Федосов, Б.Е.Федунов // М.: Физико-математическая литература. 2000. 352 с.
41. **Васильев С.Н.** Формализация знаний и управление на основе позитивно-образованных языков / С.Н.Васильев // Информационные технологии и вычислительные системы. 2008, № 1. с. 3-19.
42. **Тыгу Э.Х.** Решение задач на вычислительных моделях / Э.Х.Тыгу // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1970. Т.10, № 3. с.716-733.
43. **Pearl J.** Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference / J. Pearl // Morgan Kauffman. 1988. 553 с.
44. Цит по: **Reye J.** Student Modelling based on Belief Networks / J.Reye // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2004. №14. pp 63-96.
45. **Bloom B.S.** Taxonomy of Educational objectives. Handbook I: Cognitive domain / B.S.Bloom // New York: Longman. 1956. 201 с.
46. **Marzano R.J.** Designing a new taxonomy of educational objectives / R. J. Marzano, J.S. Kendall // Thousand Oaks, CA: Corwin Press. 2000. 193 с.
47. **Costa A.L.** Discovering and exploring Habits of Mind / A.L. Costa, B. Kallick // Association for Supervision & Curriculum Deve. 2000. 108 с.
48. **Anderson L.W.** A taxonomy for learning, teaching and accessing: A revision of Bloom's Taxonomy of educational objectives: Complete edition / L.W. Anderson, D.R. Krathwohl // New York.: Longman. 2001. 336 с.
49. **Симонов В.П.** Педагогический менеджмент: 50 НОУ-ХАУ в управлении педагогическими системами / В.П. Симонов // М.: 1999. 430 с.
50. **Беспалько В.П.** Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько // М.: Педагогика. 1989. 192 с.
51. **Максимова В.Н.** Акмеология: новое качество образования. Кн. для педагога / В.Н.Максимова // СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. 2002. 99с.
52. **Скаткин М.Н.** О повышении эффективности урока. Методические рекомендации для учителей / М.Н. Скаткин // М.:НИИОП. 1986. 47 с.
53. **Фридман Л.М.** Логико-педагогический анализ школьных учебных задач / Л.М. Фридман // М.: Педагогика. 1977. 208 с.
54. Методика преподавания математики в средней школе: Общая методика // Сост. Р.С. Черкасов, А.А. Столяр. М.: Просвещение. 1985. 336 с.
55. **Васильев С.Н.** Методы и алгоритмы многокритериальной оптимизации на основе нестрогих ранжировок альтернатив по частным критериям и опыт компьютерной реализации / С.Н. Васильев, Ю.В. Котлов // Проблемы управления и информатики. 2006. №1. с 12-27.
56. **Васильев С.Н.** Синтез функции эффективности в многокритериальных задачах принятия решений / С.Н. Васильев, А.П. Селедкин // Известия АН СССР, Техническая кибернетика. 1980. № 3. с. 186-190.
57. **Murray R.C.** DT-Tutor: A Decision-Theoretic, Dynamic Approach for Optimal Selection of Tutorial Actions / R. C. Murray, K. VanLehn // Intelligent Tutoring Systems, 5-th International Conference. New York: Springer. 2000. pp 153-162.

ОБ АВТОРАХ

Смирнова Наталия Викторовна, аспирант ИПУ РАН. Дипл. мат.-сист. прогр. по спец-ти «прикладная математика и информатика» (Иркутск, 2008 г). Иссл. в обл. методов многокритериальной оптимизации и интеллектуальных обучающих систем.

Смирнова Н.В. Следящие интеллектуальные обучающие системы: состояние и перспективы / Н.В. Смирнова // Интеллектуальные системы управления. Под ред. Васильева С.Н. изд-во «Машиностроение», 2010