

Мотивационно-волевой компонент модели обучаемого в следящих интеллектуальных системах. Часть 1

Аннотация. Первая часть данной статьи посвящена алгоритмизации построения мотивационно-волевого компонента модели обучаемого и описанию роли этого компонента в модуле управления учебным процессом. Во второй части излагаются особенности реализации процедуры имитационного моделирования учебного процесса с использованием следящей ИОС, а также приводятся результаты имитационного моделирования, проведенного с целью апробации предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: интеллектуальные обучающие системы, модель обучаемого, моделирование обучаемого, мотивация.

Введение

В последние десятилетия интенсивно развивается такое направление исследований, как создание интеллектуальных обучающих систем (ИОС) [1]. Большинство разработанных систем все еще является недостаточно эффективным. Прежде всего это связано с тем, что процесс разработки ИОС является трудозатратным и требует привлечения специалистов из нескольких разных областей. ИОС «Волга», для которой предназначены излагаемые в данной статье результаты, разрабатывается в ИПУ РАН в сотрудничестве с КГТУ-КАИ и психологическим факультетом МГУ [2-5].

Важным компонентом ИОС для управления учебным процессом является модель обучаемого, характеризующая прежде всего текущий уровень знаний и умений обучаемого. Для их представления в большинстве ИОС является достаточно общепринятым использование байесовского подхода (например, [6-8]). Все больше исследований посвящается репрезентации и другим характеристикам обучаемого, а именно, показателей, характеризующих изменяющееся психологическое (в том числе эмоциональное) состояние студента и степень рациональности организации познавательной деятельности обучаемого.

Для выявления психологического состояния обучаемого могут быть использованы различные типы входных данных. В данной статье рассматриваются исключительно методы, опирающиеся на анализ истории действий студента в обучающей системе в режиме реального времени. В случае их применения пользователю системы не требуется наличие специального оборудования¹, которое могло бы к тому же усилить в обучаемом ощущение слежения внешнего наблюдателя за его действиями, что может привести к неестественности поведения и ухудшению процесса обучения.

Изложение результатов исследований касается пока лишь части модели обучаемого, а именно, мотивационно-волевого компонента. Эта часть модели активно используется для интерактивной поддержки решения задач (Рис. 1). Способы измерения показателей обучаемого, входящие в эту часть модели, по замыслу основаны на учете реального взаимодействия обучаемого с ИОС «Волга». В данной статье они пока исследуются с помощью виртуального имитатора реального обучаемого. Разумеется, имитационное моделирование имеет свои

¹ Имеется в виду оборудование в виде видеокамеры, датчиков, прикрепляющихся к телу и измеряющих сердечный ритм, и т.п.

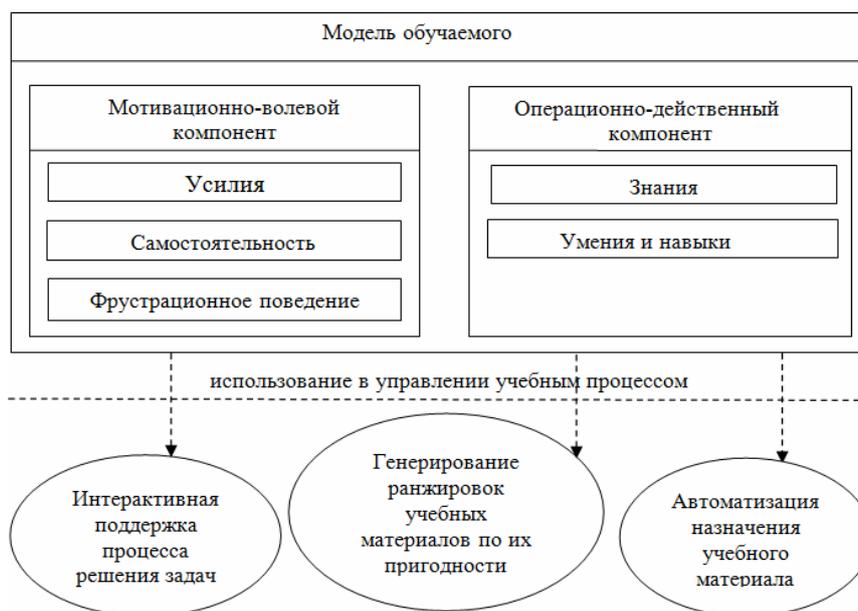


Рис. 1. Структура модели обучаемого и ее значение в управлении учебным процессом ИОС "Волга"

ограничения, но оно позволяет до некоторой степени оценить адекватность предлагаемых способов измерения показателей модели обучаемого еще до введения ИОС «Волга» в эксплуатацию.

В первом разделе данной статьи рассматривается архитектура ИОС «Волга». Во втором приводится обзор некоторых существующих работ по измерению показателей, характеризующих поведение студента в обучающей системе. В третьем излагаются алгоритмы измерения показателей модели обучаемого, выбранные для реализации в ИОС «Волга», а также роль показателей в управлении учебным процессом.

1. Архитектура ИОС «Волга»

ИОС «Волга» относится к следящим системам (подробнее о следящих системах [9]). В архитектуре ИОС теперь различают разные структурные и функциональные компоненты (модули). Так, в [1] выделяются модель предметной области, решатель, модель обучаемого, модель коммуникации, педагогическая модель. Архитектура ИОС «Волга», помимо этих компонент, содержит ряд других модулей, работающих как в режиме он-лайн, так и в офф-лайн (Рис. 2). Центральное место в ней занимает модуль управления процессом обучения, в котором осуществляется планирование и реа-

лизация воздействий системы на обучаемого с применением логических решателей и методов многокритериального принятия решений. Для генерации новой порции учебного материала и помощи обучаемому этот модуль задействует знания о предметной области и педагогическую модель. Кроме того, 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.

Другим и не менее важным применением автоматических решателей является нахождение решений задач из учебной программы. Анализатор действий обучаемого соотносит шаги найденного им решения с шагами решений автоматических решателей для проверки решения обучаемого на допустимость, завершенность и правильность название рассматриваемого типа систем – «следящие»). Он обрабатывает и другие действия обучаемого, например, запросы подсказок. Система обновляет хранящиеся у нее сведения о состоянии учебного процесса после каждого действия обучаемого, но предпринимает ответные действия лишь в те моменты времени, которые определяются модулем управления учебным процессом, предоставляя таким образом обучаемому возможность самостоятельной работы.

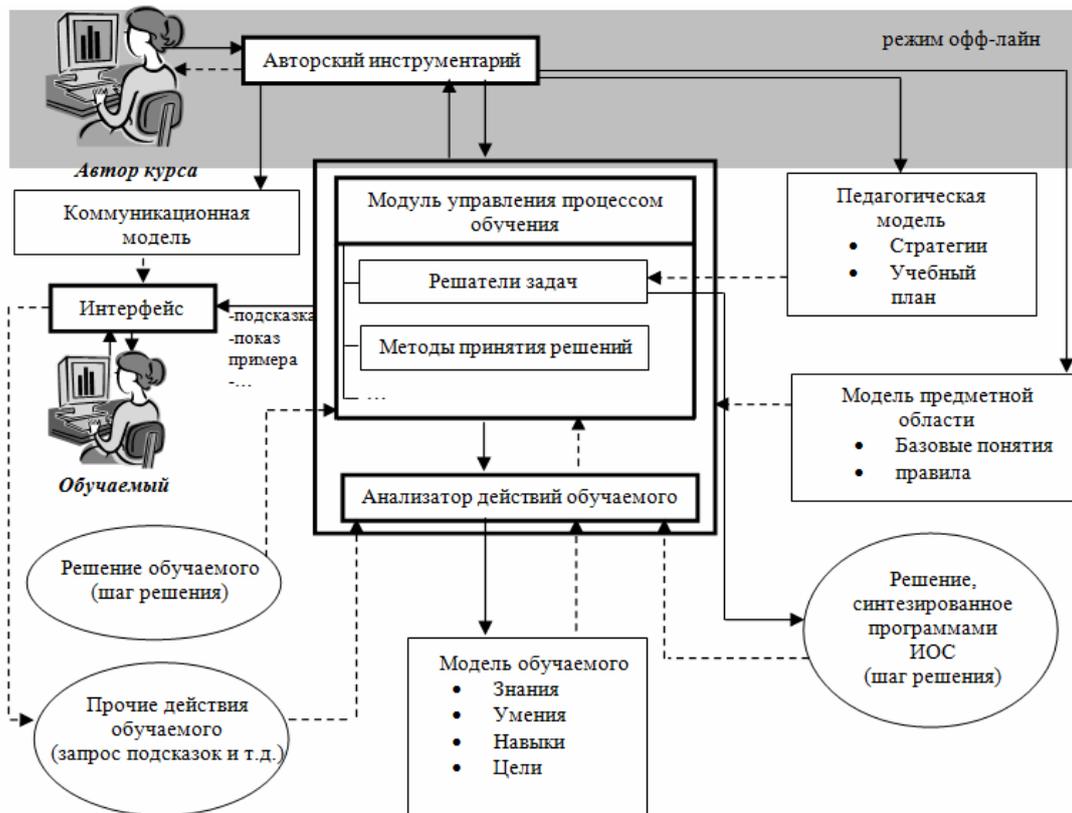


Рис. 2. Архитектура ИОС «Волга»

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.

Модель предметной области включает знания декларативной и процедурной природы. Авторский инструментарий предназначен для «наполнения» обучающей системы, в том числе модели предметной области. Он используется учителями и методистами в режиме офф-лайн при создании курса. В общем 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 модулем управления процессом обучения, причем в том числе и по сценариям, автоматически синтезируемым по ходу диалога.

На Рис. 3 представлен интерфейс обучающей системы, используемый студентом при решении одной задачи из курса линейной алгебры. Для ввода своего решения очередного шага студенту предлагается достаточное количество шаблонов ввода данных, существенно упрощающих процесс ввода (особенно формул) и процесс адекватного восприятия самой системой вводимого текста. Для того чтобы ввести некоторую часть решения, студент, во-первых, заносит в рабочее пространство адекватный шаблон, а во-вторых, заполняет его «пустоты» недостающими данными, подлежащими отысканию снова самим обучаемым. Система предоставляет информацию о том, какие совокупности шаблонов студент может добавить в рабочее пространство для того, чтобы решить задачу и возможность проверки шаблонов на правильность. Таким образом, под шагом решения задачи понимается часть решения, вводимая обучаемым с помощью некоторого шаблона, который может проверить на правильность и сама система.

В процессе работы студента с системой история действий студента в режиме реального

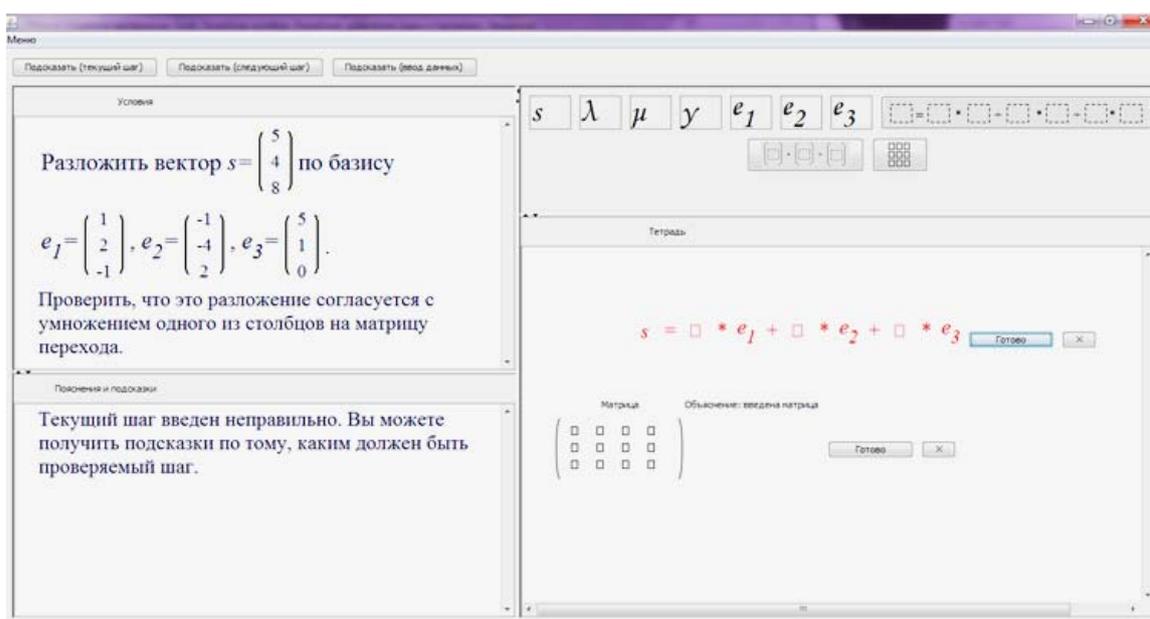


Рис. 3. Интерфейс обучающей системы, используемый при решении задач

времени сохраняется и анализируется. Отслеживаемые действия включают: запросы помощи, перечитывание уже предоставленной помощи, ввод, редактирование и проверку шагов задачи и т.п.

Поведение обучающей системы имеет следующие особенности. Система не обязана предоставлять помощь по запросу студента: в ответ на его запрос она может предоставить другой вид помощи или отказать. Система может сама предлагать студенту помощь, если получит свидетельства о том, что учебный процесс замедлился (стал неэффективным), а также предоставить помощь студенту без его согласия.

Помимо кратких подсказок, которые способствуют выводу студента из тупиковой ситуации во время решения задачи, но не способствуют его обучению, планируются к использованию виды помощи, требующие усилий от студента. Выделяется три уровня помощи системы, упорядоченных по степени конкретности:

1. теоретический (перенаправление студента на соответствующий теоретический фрагмент, абстрактная подсказка);

2. схематический (менее абстрактная подсказка, подсказка по общему плану решения, перенаправление на пример решенной ранее студентом задачи);

3. конкретный (выполнение шага за студента, предъявление примера выполнения данного шага на других значениях рассматриваемых ве-

личин, перенаправление к более простой задаче, которая является лишь подзадачей по отношению к решаемой).

Помощь по вводу данных, которая может выражаться предоставлением студенту информации по вводу данных на конкретном участке выполняемого задания (например, в виде краткой справки) или сменой интерфейса ввода данных на более простой, всегда предоставляется по запросу студента, так как считается, что потребность в ней не зависит от значимых для процесса обучения характеристик студента, а лишь отражает его текущий уровень осведомленности в тех или иных (может быть, достаточно технических) правилах ввода данных.

2. Обзор работ по оцениванию показателей поведения студента в обучающей системе

Представленный ниже список результатов исследований других коллективов не является исчерпывающим: в нем упоминаются работы, наиболее интересные с точки зрения авторов данной статьи. Во всех этих работах приведены результаты более или менее успешных попыток оценивания различных аспектов поведения обучаемого, но их объединяет одна и та же цель – создание модели обучаемого, позволяющей оперативно выявлять снижение эффективности

учебного процесса на основе анализа истории действий студента в обучающей системе в режиме реального времени.

В [10] предлагается отслеживать такие показатели модели обучаемого, как «Самостоятельность», «Усилия» и «Уверенность в своих силах». Показатель «Усилия» предлагается определять как величину, значение которой вычисляется (перевычисляется) в моменты продвижения в решении задачи и в моменты отказа со стороны студента продолжать ее решение. При этом новое значение показателя зависит от количества правильно выполненных шагов и наличия по ним помощи со стороны системы к расчетному моменту.

Значение показателя «Самостоятельность» предлагается уменьшать при предоставлении подсказок студенту (степень уменьшения должна зависеть от степени абстрактности (конкретности) подсказки) и согласия студента на получение этой подсказки. В случае отказа студента от подсказки значение нужно увеличивать.

Показатель «Уверенность в себе» изменяется после появления следующих событий: прогресс в задаче, ошибочное действие, согласие на помощь, отказ от помощи, запрос помощи до начала решения задачи. Для событий «прогресс в задаче» и «ошибочное действие» учитываются также факты наличия/отсутствия помощи со стороны системы до появления ситуации.

В [10] также предлагается архитектура планировщика, способного принимать педагогические решения, первая версия которой реализована в обучающей системе, которая предназначена для обучения студентов программированию на Прологе. Педагогическая модель представлена в виде набора продукционных правил, с помощью которого генерируется управление для каждого ключевого события из возможных в процессе обучения. Левые части этих правил «если-то» содержат ссылки на текущие значения отслеживаемых показателей модели обучаемого.

Для оценки адекватности модели обучаемого и педагогического планировщика (его педагогической модели) проведены испытания, в которых студенты-волонтеры работали с обучающей системой в течение часа. Авторы приводят примеры как успешных, так и неуспешных взаимодействий студентов с обучающей системой и выделяют две наиболее частые причины недовольства поведением системы со стороны студентов. Эти причины включают отказ

системы в предоставлении подсказки и отказ от завершения решения текущей задачи студентом, имеющие место в том случае, когда из текущих значений отслеживаемых показателей следует, что студент недостаточно старателен. В последнем случае студенты были недовольны тем, как система управляет учебным процессом, поскольку считали, что компьютерная программа должна всегда предоставлять помощь по запросу пользователя, не пытаясь вычислить целесообразность ее предоставления в тот или иной момент времени. Авторы отмечают, что этот факт, возможно, обоснован тем, что исследуемые студенты были студентами технического вуза.

В [11] описывается модель обучаемого, используемая в программном комплексе поддержки вузовских лабораторных работ. Данный комплекс предполагает последовательную разработку обучаемым ряда протоколов². В распоряжении обучаемого имеется среда поддержки разработки протоколов, включающая в себя язык их описания (с интерпретатором), редактор, тестирующие средства и справочную систему. Программно отслеживаемыми параметрами являются: время работы со справочными материалами, количество отладочных и основных запусков, время и объем редактирования элементов протокола. На основе анализа временной динамики значений этих показателей делаются выводы об усилиях студента. Резкое и неоправданное с позиции применяемой модели изменение отслеживаемых значений говорит об использовании студентом нечестных методов решения задания.

В [12] предлагается в качестве опорных характеристик использовать «Самостоятельность», «Усилия» и «Компетентность». «Самостоятельность» определяют как склонность студента к работе без получения помощи со стороны системы; «Усилия» - как степень вовлеченности, решительности студента выполнить задание; «Компетентность» - как меру уровня знаний и умений студента по отношению к конкретному заданию. Показатель «Самостоятельность» измеряют частотой запросов помощи; «Усилия» - частотой взаимодействий (щелчков мышью и нажатия клавиш) между студентом и системой; «Компетентность» -

² Скорее всего, под протоколами авторы статьи понимают аналоги сетевых протоколов модели OSI.

отношением количества ошибочных действий к количеству попыток выполнения задания.

В [12] на практике были опробованы две версии обучающей системы. Исследование включало 68 студентов. Первая версия системы выдавала только подсказки по учебному материалу, а вторая помимо них предлагала упражнения на расслабление, когда значения показателей модели обучаемого достигали критического уровня. Группа студентов, обучавшихся с помощью второй версии системы, показала более высокие результаты при апостериорном тестировании знаний. Кроме того, по мнению этих студентов, в процессе работы их эмоциональное состояние улучшалось после выполнения предложенных системой упражнений на расслабление.

В [13] предлагается модель для выявления эмоционального состояния студента в процессе его работы в лаборатории виртуальных экспериментов, предназначенной для изучения концепций мобильной робототехники. Теоретической основой модели является когнитивная теория эмоций OCC (Ortony, Clore, and Collins's theory), выявляющая эмоциональное состояние путем сравнения того, насколько текущая обстановка, характеризующая деятельность человека, совпадает с целями, которые он должен достичь. Модель реализована в виде байесовской сети [14].

Возможным целям студента в данном случае соответствуют следующие узлы сети: изучение тем, связанных с экспериментом, успешное выполнение эксперимента, скорейшее завершение эксперимента. Вероятность достижения каждой из этих целей вычисляется на основе уровня знаний студента и уровня его личностных характеристик – «Добросовестность» и «Невротизм». Уровень личностных характеристик студента выявляется перед началом его работы с обучающей системой, для чего студенту предлагается выполнить специальный психологический тест.

Текущую обстановку описывают узлы сети, значения которых изменяются с учетом значений показателей, отслеживаемых во время работы студента в виртуальной лаборатории. Эти показатели включают: приобретенное знание, результаты эксперимента, длительность эксперимента. Эмоциональное состояние студента описывается тремя узлами, первый из которых может принимать значения «радость» или «огорчение», второй – «гордость» или «стыд», а третий – «удовлетворенность» или «неудовлетворенность». С помощью узлов «ра-

дость/огорчение» и «гордость/стыд» моделируются эмоции студента по отношению к его успехам в работе с обучающей системой, с помощью узла «удовлетворенность/неудовлетворенность» – отношение студента к тому, как обучающая система с ним взаимодействует.

Вероятности принятия каждого из возможных значений для этих узлов вычисляются на основе сравнения текущей обстановки с возможными целями студента. Чем больше текущая обстановка соответствует возможным целям студента, тем больше вероятности значений «радость», «гордость», «удовлетворенность» и тем меньше вероятности значений «огорчение», «стыд», «неудовлетворенность», и наоборот.

Точность модели проверена в исследованиях на 20 студентах: сравнивались оценки эмоционального состояния, полученные от студентов, и оценки, вычисленные с помощью модели. Для узла «радость/огорчение» совпадение с оценками студентов составило 72% случаев, для узла «гордость/стыд» – 70%, а для узла «удовлетворенность/разочарование» – 55%.

В [15] описывается модель, затрагивающая только один аспект поведения студентов – способ использования заложенного в систему механизма оказания помощи. Модель реализована в виде набора 57 продукционных правил. 32 правила отражают отклонения поведения студентов от рационального способа использования помощи. Иерархия правил, описывающих отклонения поведения, включает 4 основные категории: «злоупотребление помощью», «уклонение от использования помощи», «злоупотребление попытками ввода шага» и «другие ошибки». Эти правила учитывают следующие события:

- переход к более конкретной подсказке через слишком короткое время после получения предыдущей;
- запрос помощи, в то время как имеющийся уровень навыков позволяет ввести шаг без ее использования;
- запрос помощи, в то время как имеющийся уровень навыков позволяет получить необходимую информацию из справочных материалов;
- чтение справочных материалов, в то время как имеющийся уровень навыков позволяет ввести шаг без их использования;
- слишком быстрый ввод/редактирование шагов, при условии того, что имеющийся уровень навыков слишком низок или имеют место повторяющиеся ошибки;

- ввод правильного ответа без использования помощи при условии того, что имеющийся уровень навыков слишком низок или имеют место повторяющиеся ошибки;

- попытка ввода шага без чтения справочных материалов, при условии того, что имеющийся уровень навыков – средний³;

- поспешная и неуспешная попытка ввода шага, в то время как имеющийся уровень навыков позволяет ввести его правильно;

- поспешная просьба помощи по вопросу, с которым студент сталкивается впервые;

- поспешная просьба помощи после неуспешной попытки ввода шага;

- неуспешная попытка ввода шага, несмотря на то, что студент перед ней уже получил всю заложенную по шагу помощь.

С помощью этой модели оценки использования обучаемым помощи системы на экспериментальных данных, полученных из функционирующих обучающих систем, была рассчитана частота нерациональных действий студентов. В двух различных исследованиях выяснилось, что частота выявляемых ошибочных действий слишком высока: 73% и 64%. Поскольку алгоритм управления обучением, использующий эту модель, предполагает немедленную реализацию некоторого педагогического воздействия при выявлении каждого ошибочного действия, то это означает, что обучающая система, использующая такую модель, слишком часто вмешивалась бы в учебный процесс. Авторы немного изменили саму модель и способ ее использования и планируют новые исследования улучшенной модели – после ее внедрения в действующие обучающие системы.

В [16] излагаются результаты апробации детектора нерационального использования обучающей системы посредством поиска в ней слабых мест. Статистической основой детектора стали Latent Response Models. Детектор оценивает каждое действие студента как оптимальное или неоптимальное с помощью функции, аргументами которой являются 26 показателей. Учитывается, например:

- было ли действие студента правильным или неправильным, или это был запрос помощи,

- была ли это первая попытка ввести шаг правильно (получить помощь по шагу),

- сколько секунд студент в среднем затратил на каждую возможность изучения учебного материала, необходимого для данного шага задачи,

- как часто студент просил помощь в последние 8 действий,

- вероятность того, что студент знает учебный материал, связанный с этим шагом, получаемая из байесовской сети.

Результаты детектора сравнивались с оценками наблюдателей, проводивших многократные 20-секундные наблюдения за поведением студентов, работавших с обучающей системой. Оказалось, что результаты детектора нестабильны на различных комбинациях уроков, в одних случаях идеальны, в других – значительно слабее.

В [17] предлагается диагностировать мотивацию студента с помощью трех групп показателей: 1) вовлеченность в учебный процесс (отражает уровень мотивации), 2) изменение активности (отражает динамику накопления мотивации, ее направленность), 3) источник мотивации (внешний или внутренний). Анализ истории действий студентов в этой работе проведен на базе электронного пособия по изучению иврита. Пользователи пособия могут просматривать таблицы, в которых представлены слова и их значения для запоминания; практиковаться путем просмотра таблиц, в которых представлены слова без перевода; получать подсказки, объясняющие значение нужного слова или выражения; искать слова или выражения в словаре; проходить тесты. Отмечается, что студент может «хитрить» в процессе работы, но в [17] определение подобных действий не приводится. В конце занятия студент может отметить изученные слова. В результате анализа авторы выделяют следующие показатели:

1) время, проведенное за выполнением заданий/общее время работы в системе,

2) средняя продолжительность сессии,

3) средний темп внутри сессии – количество действий / продолжительность сессии,

4) среднее время между сессиями,

5) изменившееся число заученных слов с начала до конца (может быть отрицательным) разделенное на общее время сессии,

6) количество действий самотестирования/общее количество действий,

7) количество «хитрых» действий/общее количество действий.

Показатели 1), 2) авторы относят к первой группе, 5) – ко второй, 3), 4), 6), 7) – к третьей.

³ Авторы статьи считают, что в том случае, когда уровень навыков у студента средний, ему необходимо перед вводом шага просмотреть справочные материалы.

В [18] описывается байесовская сеть, определяющая, насколько эффективно обучался студент при выполнении упражнения, и содержащая следующие переменные:

1) склонность к тому, чтобы в затруднительной ситуации просить помощь, а не пытаться ответить на вопрос, определяется как $help / (errors + help)$, где $help$ - количество запросов помощи в процессе размышления над некоторым вопросом, а $errors$ - количество ошибочных попыток ответа на этот вопрос,

2) потребность в помощи (вычисляется с помощью вспомогательной байесовской сети),

3) самостоятельная коррекция ответа (булевская переменная),

4) просмотр относящегося к вопросу примера перед ответом (булевская переменная),

5) средняя длительность размышления над полученными подсказками (длительность размышления над одной подсказкой определяется как время до следующего действия после получения подсказки),

6) скорость просматривания подсказок (расстояние Махаланобиса⁴ между вектором, состоящим из временных интервалов между получением подсказок у данного студента, и вектором, координаты которого соответствуют временным интервалам, усредненным по остальным студентам между получением одних и тех же подсказок к одному и тому же вопросу),

7) частота ошибочных ответов.

Данная байесовская сеть внедрена в обучающую систему WALLIS.

В [19] приводятся результаты исследования историй действий 48 пользователей, работавших с гипертекстовой обучающей системой в течение одного или нескольких сеансов. Наиболее информативными признаками, по мнению авторов, оказались: количество страниц, которые студент читал дольше, чем в среднем читают студенты; среднее время, затрачиваемое на тест; количество набранных баллов по итогам теста; количество вопросов, пройденных в тесте. Среднее зна-

чение времени, затрачиваемого на чтение одной страницы, оценивалось из средней скорости чтения – 200-250 слов в минуту. Авторы отмечают, что предложенный ими способ во многом совпал с оценками экспертов.

Удовлетворенность той или иной моделью обучаемого во многом определяется ее местом и значением в управлении учебным процессом. Упомянутые выше модели обучаемых были использованы авторами работ в попутно предложенных механизмах управления учебным процессом. Между тем, наиболее перспективной представляется идея механизма управления, учитывающего многокритериальность принимаемых решений. Показатели модели обучаемого, задействуемые этим механизмом, должны быть определены таким образом, чтобы их можно было интерпретировать как критерии, значения которых могут быть улучшены или ухудшены под воздействием системы на студента. При этом в способах измерения показателей должна явным образом учитываться не только зависимость значений показателей от латентного психологического состояния студента, но и то, как педагогические воздействия (в частности, предоставление или отказ в помощи) влияют на это состояние.

По причинам, описанным выше, наиболее близкой для авторов данной статьи является работа [10]. В ИОС «Волга» способы измерения показателей «Самостоятельность» и «Усилия» расширяют способы, предложенные в [10], и, кроме того, вводится показатель «Фрустрационное поведение».

3. Алгоритмизация построения мотивационно-волевого компонента модели обучаемого

Во время решения задачи студентом реализуются различные ситуации, свидетельствующие об изменении значений показателей. Каждая такая ситуация описывается действием студента и некоторыми дополнительными условиями, накладываемыми на это действие. В качестве примера можно привести ситуацию, в которой действием студента является отказ от получения помощи, а дополнительными условиями – уровень помощи (подробнее про уровни помощи в окончании раздела 1), кому принадлежит инициатива привлечения помощи –

⁴ Расстояние Махаланобиса – в математической статистике – мера расстояния между векторами случайных величин, обобщающая понятие евклидова расстояния. Формально расстояние Махаланобиса между двумя случайными векторами \vec{x} и \vec{y} из одного распределения вероятностей с матрицей ковариации S определяется так:

$$d(\vec{x}, \vec{y}) = \sqrt{(\vec{x} - \vec{y})^T S^{-1} (\vec{x} - \vec{y})}.$$

студенту или системе и т.п. Различным типам ситуаций с учетом их значимости в характеристике степени возрастания/убывания рассматриваемого показателя приписываются разные весовые коэффициенты (Табл. 1-2 Приложения 1). Текущее значение каждого показателя вычисляется на основе суммы весовых коэффициентов, пересчитываемой после появления каждой «значимой» ситуации, т.е. такой ситуации, которой в Табл. 1-2 соответствует ненулевой весовой коэффициент, т.е. каждый показатель вычисляется по формуле

$$E = f\left(\sum_{i=1}^n w_i\right), \quad (1)$$

где индекс i нумерует «значимые» ситуации по порядку возникновения, w_i - весовой коэффициент i -й ситуации. Далее для краткости будем использовать обозначение $W = \sum_{i=1}^n w_i$.

Одинаковый прогресс в решении у студента, для которого задача простая, и у студента, справляющегося с трудом, очевидно, свидетельствует о разных затраченных усилиях и, соответственно, о разном уровне мотивации. Поэтому в рассмотрение вводится параметр s , являющийся оценкой трудности решаемой задачи, которую дает студент перед началом решения или вычисляет система. Весовые коэффициенты «повышающих» ситуаций умножаются на s , а «понижающих» - делятся на s . Таким образом, чем труднее задача для студента, тем больше увеличение показателя «Усилия» при появлении «повышающей» ситуации и тем меньше величина уменьшения этого показателя при появлении «понижающей» ситуации.

Поскольку:

1) для удобства использования было принято решение о том, чтобы значения показателей содержались в интервале $[-1; 1]$,

2) в моменты принятия системой решения о выборе воздействия на студента используется информация о его состоянии в течение некоторого временного промежутка, им предшествующего, а не информация об изменениях состояния студента в течение всего сеанса работы с системой, то в качестве функции $f(x)$, которая берется от суммы весовых коэффициентов в (1), была взята функция

$$f(x) = \frac{ax}{\sqrt{1+(ax)^2}}, \quad (2)$$

обладающая следующими свойствами:

- 1) $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = -1, \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = +1$,
- 2) $\forall k > 0, x', x'' : |x'| < |x''|, x'x'' > 0$ справедливо $f(x'+k) - f(x') > f(x''+k) - f(x'')$ (иными словами, степень изменения показателя после очередного пересчета суммы весовых коэффициентов зависит от предшествующего ему значения показателя $f(x)$: чем $|f(x)|$ ближе к 1, тем изменение меньше, показатель как бы «насыщается»).

Параметр a определяет степень влияния ситуаций на показатель: изменение показателя при появлении очередной ситуации тем больше, чем больше a (для примера ср. графики функции с $a = 0.4$ и $a = 1$ на Рис. 4). При проведении экспериментов (вторая часть данной статьи) в качестве a использовалось значение 0.4.

Примеры, поясняющие вышеизложенный способ измерения показателей, в Приложении 1. Блок-схема предлагаемого алгоритма построения мотивационно-волевого компонента модели обучаемого изображена на Рис. 5. Этот алгоритм реализует автоматную модель, входами которой являются те или иные переменные, динамично меняющие свои значения в соответствии с отслеживаемыми событиями, в число которых входит событие «Завершение сеанса», возникающее, когда заканчивается сеанс работы студента с обучающей системой и событие «Действие студента», возникающее, когда в историю действий студента добавляется новая запись. При вызове события «Завершение сеанса» происходит сохранение текущих значений показателей и завершение работы алгоритма построения модели обучаемого. При вызове события «Действие студента» выполняется последовательность операторов, схематически изображенная на Рис. 6.

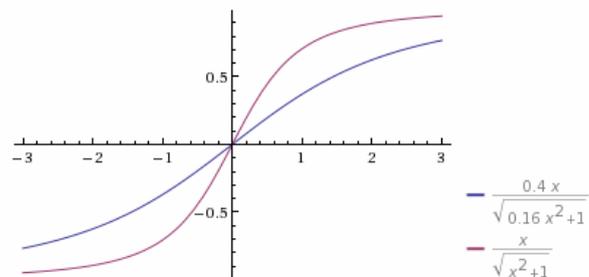
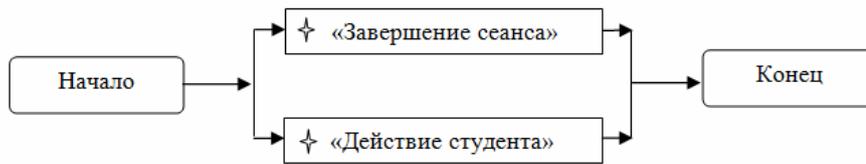


Рис. 4. Влияние параметра a на степень изменения показателя на примере сравнения графиков функций вида (2) с $a = 0.4$ и $a = 1$



✦ означает вызов программы-проверки наступления события и, в положительном случае, самой программы-обработчика

Рис. 5. Основная программа

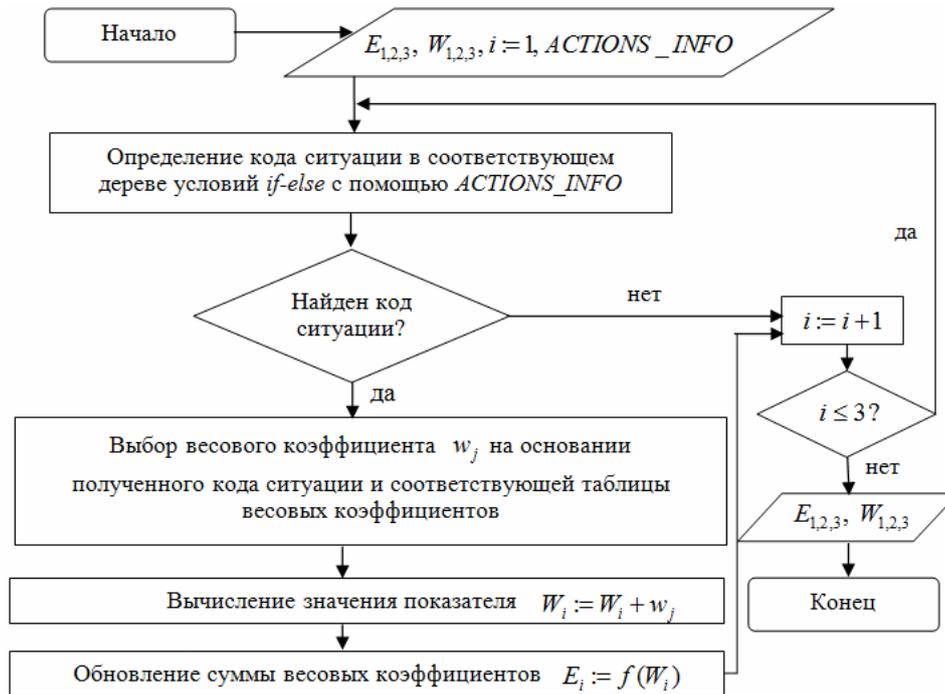


Рис. 6. Блок-схема программы-обработчика события «Действие студента»

Поясним Рис. 6. Посредством W_i обозначается сумма весовых коэффициентов, а с помощью E_i - текущее значение i -го показателя, $i = 1, 3$. В $ACTIONS_INFO$ содержится информация о последнем и предпоследнем действиях студента и системы, а также некоторые служебные переменные. В дереве условий if-else закодированы описания ситуаций из Табл.1 и Табл.2 Приложения 1. Коды ситуаций содержатся в колонке «Код» Табл. 1 и Табл.2.

Текущие значения показателей используются для управления процессом обучения во время решения задачи и главным образом, для того, чтобы оценить целесообразность а) предоставления помощи студенту, б) продолжения работы студента над данной задачей или с системой в текущем сеансе работы. Последнее означает, что студенту может быть предложено

перейти к решению другой, более подходящей задачи или рекомендовано завершить текущий сеанс работы и начать новый сеанс, например, на следующий день.

Алгоритм управления учебным процессом, задействующий текущие значения показателей, здесь не приводится. Отметим лишь, что в результате его работы на основе текущих значений делается вывод о том, какая из учебных ситуаций имеет место (например, «студент фрустрирован», «студент ищет обходные пути в системе» и т.п.) и далее, в зависимости от ситуации, выбирается действие системы. При этом в качестве текущих значений используются не количественные оценки показателей, рассчитываемые по формуле (1), а порядковые в следующей шкале {низкий уровень, средний уровень, высокий уровень}. Переход от коли-

чественных оценок к порядковым для каждого показателя осуществляется следующим образом. На этапе настройки программы интервал $[-1;1]$ разбивается на 3 подинтервала, соответствующие низкому, среднему и высокому уровням показателя ($[-1;a]$, $(a;b]$, $(b;1]$, где a и b – некоторые вещественные числа). Порядковая оценка текущего значения показателя E_i^{ord} зависит от того, в какой из подинтервалов попала E_i^{num} – количественная оценка текущего значения показателя, вычисляемая по формуле (1):

$$E_i^{ord} = \begin{cases} \text{"низкий уровень", если } E_i^{num} \in (-1; a] \\ \text{"средний уровень", если } E_i^{num} \in (a; b] \\ \text{"высокий уровень", если } E_i^{num} \in (b; 1] \end{cases}$$

Итоговые значения показателей «Самостоятельность» и «Усилия» влияют на настройки поведения системы в последующие сеансы работы с системой. Считается, что эти показатели отражают стиль работы студента, который может изменяться под влиянием системы, но не быстро. Показатель «Фрустрационное поведение» не влияет на настройки поведения системы, поскольку считается, что он ситуативный, может сильно варьироваться в различных сеансах работы и возникать в силу различных причин.

Поскольку для каждого показателя до наступления очередной «значимой» ситуации текущее значение каждого показателя не изменяется и равно значению, вычисленному с помощью формулы (1) в момент наступления предыдущей значимой ситуации или, при отсутствии значимых ситуаций, начальному значению показателя, то среднее для ряда значений функции $f\left(\sum_{i=1}^n w_i\right)$, взятых в моменты наступления «значимых» ситуаций, не подходит в качестве количественной оценки итогового значения показателя. Более подходящей количественной оценкой, характеризующей итоговое значение каждого показателя, является вектор $L = (l_1, l_2, l_3)$, где l_i – время, в течение которого значение текущего показателя попадает в i -ый подинтервал, $i = \overline{1,3}$. В этом случае порядковая оценка итогового значения показателя вычисляется по правилу

$$E_i^{gen} = \begin{cases} \text{"низкий уровень", если } l_1 = \max L \\ \text{"средний уровень", если } l_2 = \max L \\ \text{"высокий уровень", если } l_3 = \max L \end{cases}$$

Переход показателя «Самостоятельность» через верхнее критическое значение, что означает высокую самостоятельность студента, ведет к следующей настройке системы:

1) Смена частоты проверки системой работы студента. Если студент самостоятелен, программа позволяет ему дольше бездействовать и реже вмешивается в его работу. В том числе, она реже предлагает подсказки или выдает подсказку уровня, отличного от запрашиваемой.

2) Изменение "лояльности" к студенту. Самостоятельный студент реже заподозривается в ненадлежащем использовании системы, поэтому он сталкивается с меньшим количеством отказов системы по предоставлению конкретных подсказок (количество отказов в том случае, когда считается, что студент ненадлежащим образом использует систему, планируется ограничить до трех).

3) Смена интерфейса: самостоятельный студент переводится на более закрытый интерфейс, что позволяет ему решать задачи своим путем и в удобной для него форме. Под более закрытым интерфейсом понимается интерфейс, в котором для ввода формул предлагаются более абстрактные шаблоны ввода данных, в меньшей степени «подсказывающие» общий вид формулы.

Кроме того, полностью самостоятельное выполнение задания фиксируется в результатах студента (задачи не просто решены, но решены самостоятельно). Оценка самостоятельности вносит вклад и в оценку знаний и умений студента (т.е. в операционно-действенный компонент, который в данной статье не рассматривается) и служит в дальнейшем основанием для перевода студента из слабой группы в среднюю или из средней в сильную.

Переход показателя «Усилия» через верхнее или нижнее критическое значение ведет к смене инструментов, позволяющих работать с уровнем мотивации студента. Под мотивирующими инструментами (материалами) понимаются материалы, направленные на стимуляцию студента к дальнейшей или более интенсивной работе с программой. Мотивирующие материалы бывают двух видов:

1) Поощрительные. Система предъявляет прикладные и иллюстративные материалы, которые могут заинтересовать студента.

2) Стимулирующие. Система выражает неудовольствие недостаточной работой студента: информирует о скором окончании сеанса.

Для дополнительной мотивации студентов предполагается использование открытых пользовательских моделей успеха (ОПМ) [20] двух видов: модель внутреннего продвижения и внешнего продвижения. Модель внутреннего продвижения отображает достижения студента по отношению к его предыдущим результатам, т.е. в некотором роде сравнивает студента «с самим собой», а модель внешнего продвижения соответствует обычной ОПМ, сравнивающей успехи студента с успехами других.

Поскольку предоставление мотивированному студенту информации о его текущих успехах может изменить его цель с обучения на достижение некоторого результата по шкале "успеха", что приведет в целом к снижению мотивации [21], и предоставление недостаточно мотивированному студенту информации о его текущих успехах повысит желание двигаться вперед, то существуют три варианта использования ОПМ:

1) Студент высоко мотивирован (много усилий в предыдущих сессиях). Тогда ОПМ не используется.

2) Студент низко мотивирован (мало усилий в предыдущих сессиях), будучи в сравнении с другими студентами слабым или средним. При этом используется ОПМ внутреннего продвижения.

3) Студент низко мотивирован (мало усилий в предыдущих сессиях) и сильный. Используется ОПМ внешнего продвижения.

Алгоритм управления учебным процессом, вкратце описанный выше, не учитывает многокритериальность принимаемых системой решений. На его основе в следующем исследовании будет разработан другой алгоритм управления, использующий значения показателей мотивационно-волевого компонента в качестве критериев, подлежащих максимизации (подробнее о другом алгоритме [22]). В данной статье делается акцент на алгоритмизации построения модели обучаемого для первого алгоритма управления учебным процессом. Результаты первичного исследования предложенного алгоритма построения мотивационно-волевого компонента модели обучаемого будут приведены во второй части статьи.

Приложение 1

Рассмотрим пример вычисления суммы весовых коэффициентов для показателя «Фрустрационное поведение» по истории действий студента. Пусть в течение 90 с с начала работы студента с системой зафиксированы следующие действия студента:

$t = 5$ с Студент вводит шаг с номером 1.

$t = 10$ с Студент редактирует шаг с номером 1.

$t = 60$ с Студент проверяет шаг с номером 1, этот шаг оказывается неправильным.

$t = 80$ с Студент просит конкретную помощь по шагу с номером 1.

$t = 81$ с Система отказывает в помощи.

$t = 90$ с Студент просит теоретическую помощь по шагу с номером 1.

В период с $t = 1$ с по 59 с $W = 0$, поскольку не происходит «значимых» ситуаций. В $t = 60$ с студент проверяет шаг, причем 1) шаг оказывается неправильным, 2) проверка не повторная (шаг проверяется первый раз), 3) перед проверкой шага было его редактирование, но не было получения помощи, 4) возврата с шага не было⁵. Данная ситуация подходит под описание ситуации с кодом 5.7.2 из Табл. 2, которой соответствует весовой коэффициент, равный 0.1, поэтому в $t = 60$ с $W = 0.1$.

В период с $t = 61$ с по 89 с $W = 0.1$, поскольку не происходит «значимых» ситуаций. В $t = 90$ с студент просит помощь по шагу, причем 1) предыдущим действием студента был также запрос помощи, 2) интервал между запросами помощи составил менее 60 с. Данная ситуация подходит под описание ситуации с кодом 8.3 из Табл. 2, которой соответствует весовой коэффициент, равный 0.1, поэтому в $t = 90$ с $W = 0.2$.

⁵ Под возвратом с шага понимается событие, возникающее, когда последним действием студента является некоторое действие над шагом с номером N, а предпоследним – некоторое действие над шагом с номером N+1.

Теперь на данном примере рассмотрим вычисление текущего значения показателя «Фрустрационное поведение» на основе данных о величине суммы весовых коэффициентов в разные моменты времени ($f(W)$). Поскольку в период с $t = 1$ с по 59 с $W = 0$, то $f(W) = 0$.

В $t = 60$ с $f(W) = f(0.1) = \frac{0.1 * 0.4}{\sqrt{1 + (0.4 * 0.1)^2}} = 0.04$. Так как в период с $t = 61$ с по 89 с значение

W не изменяется, то не изменяется и значение $f(W)$. В $t = 90$ с $f(W) = f(0.2) = \frac{0.2 * 0.4}{\sqrt{1 + (0.4 * 0.2)^2}} = 0.08$.

Ниже в Табл. 1 и Табл. 2 представлены весовые коэффициенты для расчета показателей мотивационно-волевого компонента модели обучаемого.

Табл. 1. Значения весовых коэффициентов, назначаемые различным ситуациям, для показателей «Самостоятельность» и «Усилия»

Действие студента	Дополнительные условия		Код	Усилия	Самостоятельность	
Студент получает помощь (по уровням помощи)	по инициативе системы и по своему согласию	помощь требует усилий ⁶	1.0	0,3,0,3,0,3	-0,1,-0,2,-0,2	
		помощь не требует усилий	1.1	0,-0,1,-0,2	-0,1,-0,2,-0,2	
	по инициативе системы, согласие не узнавалось	помощь требует усилий	1.2	0,3,0,3,0,3	-0,1,-0,1,-0,1	
		помощь не требует усилий	1.3	0,0,-0,1	-0,1,-0,1,-0,1	
	после первого запроса помощи	запрашиваемая помощь – 1 уровня	помощь требует усилий	1.4.1	0,3,0,3,0,3	-0,1,-0,1,-0,2
			помощь не требует усилий	1.4.2	0,-0,1,-0,2	-0,1,-0,1,-0,2
		запрашиваемая помощь – 2 уровня	помощь требует усилий	1.5.1	0,3,0,3,0,3	-0,1,-0,2,-0,2
			помощь не требует усилий	1.5.2	0,-0,1,-0,2	-0,1,-0,2,-0,2
		запрашиваемая помощь – 3 уровня	помощь требует усилий	1.6.1	0,3,0,3,0,3	-0,2,-0,3,-0,3
			помощь не требует усилий	1.6.2	0,-0,1,-0,2	-0,2,-0,3,-0,3
	после повторного запроса помощи	запрашиваемая помощь – 1 уровня	помощь требует усилий	1.7.1	0,3,0,3,0,3	-0,2,-0,2,-0,3
			помощь не требует усилий	1.7.2	0,-0,1,-0,2	-0,2,-0,2,-0,3
		запрашиваемая помощь – 2 уровня	помощь требует усилий	1.8.1	0,3,0,3,0,3	-0,2,-0,3,-0,3
			помощь не требует усилий	1.8.2	0,-0,1,-0,2	-0,2,-0,3,-0,3
запрашиваемая помощь – 3 уровня		помощь требует усилий	1.9.1	0,3,0,3,0,3	-0,2,-0,4,-0,4	
		помощь не требует усилий	1.9.2	0,-0,1,-0,2	-0,2,-0,4,-0,4	
студент не получает помощь (по уровням помощи)	инициатор использования помощи – студент	после первой просьбы	2.0	0,0,0	0,0,0	
		после повторной просьбы	2.1	0,0,0	-0,1,-0,1,-0,1	
	инициатор использования помощи – система	предлагаемая помощь требовала усилий	2.2.1	0,0,0	0,1,0,1,0,1	
		предлагаемая помощь не требовала усилий	2.2.2	0,0,0	0,1,0,1,0,1	
студент редактирует шаг	с переисправлениями	3.1	0	0		
	без переисправлений	3.2	0,1	0		

⁶ Показатель «Усилия» увеличивается только в том случае, когда студент пользуется помощью не менее, чем 60 с, в противном случае значение показателя не изменяется.

Действие студента	Дополнительные условия		Код	Усилия	Самостоятельность
студент работает в системе	потенциально полезные действия	релевантные ⁷	4.1	0.3	0
		нерелевантные	4.2	0	0
	прочие действия		5.0	0	0
студент запрашивает помощь по вводу данных/получает помощь по вводу данных			6.0	0	0
студент проверяет шаг	шаг оказывается правильным	по шагу была получена помощь, в том числе не требующая усилий	7.1	0.1	0.6
		по шагу была получена помощь, но не было помощи, не требующей усилий	7.2	0.1	0.6
		по шагу не было помощи	7.3	0.1	0.6
	шаг оказывается неправильным		8.0	-0.2	0

Табл. 2. Значения весовых коэффициентов, назначаемые различным ситуациям, для показателя «Фрустрационное поведение»

Действие студента	Дополнительные условия			Код	Фр. поведение	
ввод шага	возврат с другого шага			1.0	0.1	
редактирование шага	возврат с другого шага	с переисправлениями		2.1	0.2	
		без переисправлений		2.2	0.1	
	без возврата с другого шага	с переисправлениями		3.1	0.1	
		без переисправлений		3.2	0	
удаление шага	возврат с другого шага			4.1	0.1	
	без возврата с другого шага			4.2	0	
проверка шага (первая/повторная)	шаг оказался неправильным	возврат с другого шага	перед проверкой были действия редактирования и получения помощи	5.1.1	0.1,0.2	
			перед проверкой было получение помощи, но не было действий редактирования	5.2.1	0.3,0.2	
			перед проверкой были действия редактирования, но не было получения помощи	5.3.1	0.2,0.1	
			перед проверкой не было ни действий редактирования, ни получения помощи	5.4.1	0.3,0.1	
		без возврата с другого шага	перед проверкой были действия редактирования и получения помощи	5.5.1	0.1,0.1	
			перед проверкой было получение помощи, но не было действий редактирования	5.6.1	0.2,0.1	
			перед проверкой были действия редактирования, но не было получения помощи	5.7.1	0.3,0.1	
			перед проверкой не было ни действий редактирования, ни получения помощи	5.8.1	0.4,0.1	
	шаг оказался правильным	фрустрационный порог достигнут			6.1	/2
		фрустрационный порог не достигнут			6.2	=0
повторное просматривание помощи					7.0	0.1
запрос помощи	запрос сразу конкретной помощи по шагу			8.1	0.3	
	запрос более абстрактной помощи после более конкретной помощи			8.2	0.1	
	повторный запрос помощи			8.3	0.1	

⁷ Показатель «Усилия» увеличивается только в том случае, когда студент занимается релевантными действиями не менее чем 60 с, в противном случае значение показателя не изменяется.

Действие студента	Дополнительные условия	Код	Фр. поведение
отказ от смены интерфейса	на более простой	9.1	0
	на более трудный	9.2	0.2
просьба сменить интерфейс	на более простой	10.1	0.1
	на более трудный	10.2	0
занятие потенциально полезной деятельностью	деятельность – не релевантная	11.0	0.1
переход к подзадаче на короткое время и отказ от ее решения		12.0	0.2

Литература

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. 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.
3. Васильев С.Н. Интеллектуальная обучающая система // Материалы X Международной научно-технической конференции. Таганрог. Изд-во ТТИ ЮФУ. 2009. с. 147-149.
4. Vassilyev S.N., Smirnova N.V., Sukonnova A.A. and Shvarts A.Yu. Intelligent Tutoring System "Volga": Architecture and Methods // Proceedings of the International Scientific Conference "Information and Computer Technologies, Modelling, Control". Tbilisi: Georgia. 2010. pp. 56-76.
5. Васильев С.Н. Методы интеллектуализации компьютерных систем обучения // Материалы 1-й Всероссийской научной конференции с международным участием «Системный анализ и семиотическое моделирование» (SASM-2011). Казань. Изд-во «Фэн» Академии наук РТ. 2011. с. 3-12.
6. Галеев И.Х. (и др.) МОНАП-II – Авторские средства проектирования интеллектуальных обучающих систем [Электронный ресурс] / И.Х. Галеев, В.И. Чепегин, С.А. Сосновский // URL: <http://www.sis.pitt.edu/~sergeys/papers/MONAP.pdf> (Дата обращения: 09.07.2011)
7. Conati C. Bayesian Student Modeling / C. Conati // Berlin. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010. Studies in Computational Intelligence. Vol. 308. pp. 281-29.
8. Смирнова Н.В. (и др.) К организации индивидуализированного обучения в ИОС "Волга" / Н.В. Смирнова, А.В. Абдулов, И.С. Наумов, А.Ю.Шварц // Современные технологии и материалы - ключевое звено в возрождении отечественного авиастроения: Сборник докладов международной научно-практической конференции. Казань. Изд-во "Вертолет". 2010.Т. IV. 480 с.
9. Смирнова Н.В. Следящие интеллектуальные обучающие системы: состояние и перспективы / Н.В. Смирнова // Интеллектуальные системы управления. Коллективная монография под редакцией акад. РАН Васильева С.Н. М.: Машиностроение. 2010. с. 434-445.
10. Soldato T. (et al.) Formalization and Implementation of Motivational Tactics in Tutoring Systems / T. Soldato, B. de Boulay // Journal of Artificial Intelligence in Education. 1995. Vol. 6. № 4. pp. 337-378.
11. Никифоров А.Ю. (и др.) Модель студента в программном комплексе поддержки лабораторных занятий / А.Ю. Никифоров, В.А. Русаков // Научная сессия МИФИ-2005. Сборник научных трудов. М.: МИФИ. 2005. Т. 2. с. 79-80.
12. Yusoff M. (et al.) Integrating Domain-Independent Strategies into an Emotionally Sound Affective Framework for an Intelligent Learning Environment [Электронный ресурс] / M. Yusoff, B. de Boulay // URL: <http://www.cogs.susx.ac.uk/users/bend/papers/aisb2005.pdf> (Дата обращения: 09.07.2011)
13. Hernandez Y. (et al.) A Probabilistic Model of Affective Behavior for Intelligent Tutoring Systems / Y. Hernandez, J. Noguez, E. Sucar, G. Arroyo-Figueroa // Berlin. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2005. A. Gelbukh, A. de Albornoz, H. Terashima (Eds.). MICAI 2005. LNAI 3789. pp. 1175-1184.
14. Рассел С. Искусственный интеллект. Современный подход / С.Рассел, П. Норвиг // 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. 1408 с.
15. Alevin V. (et al.) Toward Meta-cognitive Tutoring: A Model of Help-Seeking with a Cognitive Tutor / V. Alevin, B. McLaren, I. Roll, K. Koedinger // International Journal of Artificial Intelligence in Education. 2006. № 16. pp. 101-130.
16. Baker et al. Developing a Generalizable Detector of When Students Game the System / R. S. J. d. Baker, A. T. Corbett, I. Roll, K. R. Koedinger // Berlin. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. User Modeling and User-Adapted Interaction. Vol. 18. № 3. pp. 287-314.
17. Hershkovitz A. (et al.) Developing a Log-based Motivation Measuring Tool /A. Hershkovitz, R. Nachmias // Interdisciplinary Journal of E-Learning and Learning objects. Santa Rosa: USA. Informing Science Institute. 2009. Vol. 5. pp. 197-214.
18. Mavrikis M. Data-driven Modelling of Students' Interactions in an ILE. In Proceedings of the 1st International Conference on Educational Data Mining. Montreal: Canada. 2008 [Электронный ресурс] / M. Mavrikis // URL: <http://www.educationaldatamining.org/EDM2008/index.php?page=proceedings>. (Дата обращения: 09.07.2011)

19. Cocea M. (et al.) Disengagement Detection in On-Line Learning: Validation Studies and Perspectives / M. Cocea, S. Weibelzahl // IEEE Transactions on Learning Technologies. CA, USA. IEEE Computer Society Press Los Alamitos. 2010. pp. 1-11.
20. Brusilovsky P. Adaptive Navigation Support in Educational Hypermedia: An Evaluation of the ISIS-Tutor / P. Brusilovsky, L. Pesin // Journal of Computing and Information Technology. 1998. Vol. 6, № 1. pp. 27-38.
21. Хекхаузен Х. Мотивация и деятельность / Х. Хекхаузен // М.: Смысл, 2003. Сер. «Мастера психологии», с. 732-734.
22. Васильев С.Н. (и др.) Методы интеллектуализации компьютерных средств дистанционного обучения / С.Н. Васильев, Н.В. Смирнова, А.Ю. Шварц // Труды Первой Международной конференции «Интеллектуальные технологии и средства реабилитации людей с ограниченными возможностями» - Москва: Изд-во МГСГИ, 2010. с. 29-36.

Смирнова Наталия Викторовна. Старший инженер-программист, аспирант ИПУ РАН. Окончила ИМЭИ ИГУ в 2008 году. Автор 8 научных работ. Область научных интересов: интеллектуальные обучающие системы, искусственный интеллект. E-mail: smirovanatalia2008@gmail.com.

Шварц Анна Юрьевна. Аспирант Московского государственного университет им. М.В.Ломоносова. Автор 18 научных работ. Область научных интересов: психология понятий, психология математического мышления. E-mail: shvarts.anna@gmail.com.