

# Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы<sup>1</sup>

**Аннотация.** Анализируется состояние и тенденции развития интеллектуальных обучающих систем. Рассматриваются особенности обучающих интегрированных экспертных систем. Описывается опыт построения обучающих интегрированных экспертных систем на основе задачно-ориентированной методологии и поддерживающего ее инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ (веб-ориентированная версия).

**Ключевые слова:** интегрированные экспертные системы, задачно-ориентированная методология, веб-технологии.

## Введение

Важнейшими особенностями современных компьютерных технологий обучения являются процессы *индивидуализации, интеллектуализации и веб-ориентации* традиционных обучающих систем, программ и технологий. Это в значительной степени определяется практическим использованием методов и средств искусственного интеллекта (ИИ) (в частности, экспертных систем (ЭС) и интегрированных экспертных систем (ИЭС)) при их разработке [1, 2], а также успехами бурно прогрессирующей технологии обучения через веб.

Анализируя ситуацию в целом, следует отметить, что сегодня хорошо известны преимущества веб-ориентированных интеллектуальных обучающих систем (веб-ИОС) [3, 4], разработанных, как правило, на базе ранних традиционных ИОС. К числу наиболее известных и упоминаемых в литературе систем относят обучающие адаптивные системы (веб-ОАС), в частности, ELM-ART, CALAT, WITS и др. [3], развитие и совершенствование которых всегда находилось в фокусе внимания многих отечественных и зарубежных исследователей, например, [5-12].

Архитектуры современных веб-ОАС и веб-ИОС не являются полностью новыми или уни-

кальными, поскольку используются знания о проблемной области (ПрО), об обучаемом субъекте и стратегиях обучения для поддержки гибкого индивидуализированного процесса изучения соответствующих дисциплин/курсов (формирование *знаний*) и развития практических навыков в использовании материала этих дисциплин (формирование *навыков/умений*).

Новым шагом в компьютерном обучении стало появление *агентно-ориентированных* ИОС [13,14], в состав которых входят следующие агенты: интерфейса преподавателя, интерфейса обучения, доступа к знаниям, онтологий, агент-координатор взаимодействий [15].

Достаточно интересные решения сегодня получены и в области создания инструментальных средств поддержки разработки веб-ИОС, что применимо в тех случаях, когда в алгоритмах управления процессом обучения используются педагогические (дидактические) принципы обучения, *инвариантные* к дисциплине/курсу, т.е. речь идет об адаптивном управлении процессом обучения.

В качестве примера можно привести семейство инструментальных систем МОНАП, МОНАП-ПЛИОС [9-11], на основе которых реализован ряд прикладных ИОС, обеспечивающих адаптивный процесс обучения грамматикам немецкого и русского языков и представляющих собой достаточ-

<sup>1</sup> Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 06-01-00242)

## 1. Эволюция парадигм разработки интеллектуальных обучающих систем

Если не рассматривать Интернет как самостоятельное средство обучения, обладающее целым рядом важных преимуществ (независимость от места/времени, наличие связей между многими объектами, мультимедийное общение и взаимодействие посредством компьютера), то в исследованиях и разработках по ИОС можно выделить несколько основных *парадигм* построения систем данного класса.

1. Основанная на концепции *специализированных ЭС*, разрабатываемых для конкретного приложения. Детальный обзор подобных систем был сделан автором в [1,2]. Другим примером являются работы В.А. Петрушина [8,26] в области так называемых *экспертно-обучающих систем*.

2. Основанная на гипертексте или гипермедиа [27]. Эти вопросы достаточно хорошо и давно рассматриваются в специализированной литературе, не относящейся к области ИИ.

3. Основанная на интеграции ЭС и гипертекста/гипермедиа, т.е. с добавлением к гипертексту (ГТ) возможностей логического вывода ЭС, что получило значительное распространение *«интеллектуальных текстах»* или *«экспертных текстах»* (термин, впервые предложенный Рой Рада [28]). Существуют два основных направления в области *встраивания* знаний в ГТ [29]: извлечение знаний из документов, уже введенных в систему, и введение знаний в процессе построения самой системы. В рамках первого направления – это целый спектр подходов, начиная от автоматизированного построения ГТ из линейного текста с помощью методов *семантической индексации* и заканчивая построением новых связей, как в процессе навигации, производимой обучаемым, так и в зависимости от его предыдущих действий, конечных целей, с учетом контекста и условий его вызвавших и т.п. Что касается второго направления, то здесь большое распространение получили *экспертные системы*, использующие отдельные методы и процедуры ЭС для управления навигацией в ГТ, например, известные коммерческие системы Knowledge Pro, INTERNIST, TIES, Oxford System of Medicine и отечественная КРЕДО [30]. Большинство из этих систем значительно ускоряют доступ к

информации и увеличивают возможности манипулирования ею, однако не осуществляют настоящего логического вывода, т.к. приобретенные и используемые в них знания не формализованы, (исключение здесь составляют системы типа SATELIT [29], в которой ввод знаний в ГТ-систему осуществляется в виде формализма *концептуальных графов* Sowa).

4. Использующая концепцию *интеллектуальных обучающих инструментов* [31,32], представляющих собой разновидности систем со *смешанной инициативой* [33] и перекрывающимся (оверлейным) типом модели обучаемого, причем предполагалось, что на основе конструктора в режиме интерактивного диалога можно создавать веб-ориентированные *интеллектуальные обучающие апплеты* по любой дисциплине/курсу, объединять их в большие хранилища, а затем с помощью ссылок связывать в ИОС различной конфигурации.

5. На основе интеграции традиционных ЭС с системами обучения. Это базовая концепция, находящаяся в фокусе внимания данной работы, поэтому рассмотрим ее более детально, тем более что системы компьютерного обучения, исторически возникшие гораздо раньше прикладных интеллектуальных систем, в частности ЭС, прошли большой путь от лабораторных программных средств (ПС) до мощных коммерческих *обучающих и обучающихся* систем широкого назначения (ИОС, ОАС, веб-ИОС и др.).

Рассматривая проблему разработки компьютерных систем обучения в целом, нельзя не упомянуть о следующей важной особенности, подмеченной В.Л. Стефанюком [5] - это выделение двух основных процессов: обучение как *learning* и обучение как *tutoring* (Рис.1). Направление *learning* (обучающиеся системы) - это самообучение, обучение с учителем, адаптация, самоорганизация и т.д., поэтому при разработке обучающих систем исследуются модели, демонстрирующие способности адаптации к окружающей среде путем накопления информации. Направление *tutoring* (обучающие системы) тесным образом связано с вопросами «кого учить» (модель обучаемого), как и «чему учить» (модель обучения) и даже «зачем учить», т.е. здесь исследуются модели передачи информации и знаний от учителя с помощью компьютера.

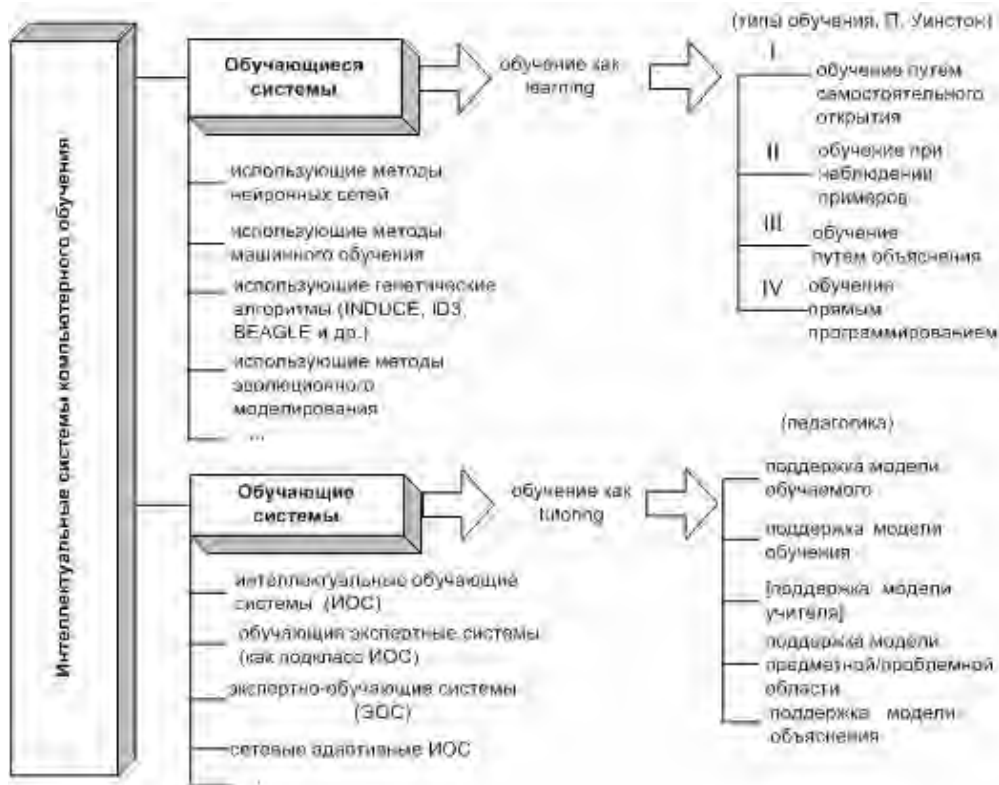


Рис. 1. Классификация интеллектуальных систем компьютерного обучения

Поскольку в области *педагогика* нет общепринятых теорий и алгоритмов обучения, нет формальных моделей обучаемого, обучения, учебных воздействий, объяснений и т.д., то надежды возлагаются, в основном, на логико-лингвистические модели. Взаимопроникновение интеграционных процессов ИИ и педагогики выразилось в ИОС, а также в *обучающих* ИЭС, (которые могут рассматриваться как подкласс ИЭС), в необходимости введения дополнительных средств, позволяющих поддерживать *модель обучаемого*, в соответствии с которой педагог на стратегическом уровне определяет текущую подцель обучения, а также средств, реализующих конкретную *модель обучения* в виде *совокупности учебных воздействий* на тактическом уровне, и обеспечивающих преподавателю возможность наблюдения за действиями обучаемого и оказания ему необходимой помощи (*модель учителя* рассматривается как факультативная или же заменяется моделью эталонного курса дисциплины).

Примеры подобных систем могут быть найдены в ранних работах автора [34,35], когда

была создана целая серия обучающих ИЭС типа: КОНВАКС-УЧИТЕЛЬ [36-38] для поддержки курса по специальной инженерной дисциплине, связанной с конструированием объектов машиностроения; МАРКЕТ-УЧИТЕЛЬ [39] для обучения маркетингу; ПРИИУС-УЧИТЕЛЬ [40] для использования в качестве обучающего тренажера при проектировании специализированных электрофизических комплексов; ТЕРРА-УЧИТЕЛЬ [43] – обучающий тренажер по экологии и др.

Отметим, что слабая разработка педагогических и психологических теорий получения знаний, формирования понятий и построения умозаключений и др. проблемы, не оправдали желаемого эффекта от ИОС, в связи с чем в середине 90-х возникло определенное разочарование, которое затем сменилось оптимизмом в свете Интернет-эволюции, появления *сетевых адаптивных* ИОС, являющимися наследниками ИОС, и веб-ИОС [3].

Таким образом, выделим два важных аспекта: с одной стороны, ИИ многое привнес в область обучающих систем (ЭС, мета-ЭС, интел-

лектуальные интерфейсы, когнитивные уровни в обучении и т.п.); а с другой - многие прикладные ЭС, разработанные для различных приложений в медицине, экологии, экономике, проектировании и др., на практике часто используются не по прямому назначению (режим консультации), а для учебно-тренажерных целей, эффективно обеспечивая поддержку учебного процесса по соответствующим специальностям.

## 2. Анализ моделей обучаемого и обучения и особенностей их реализации

Наибольшее разнообразие в традиционных ИОС и современных веб-ИОС наблюдается именно в *моделях обучаемого*, поскольку еще со времен пионерских работ П.Л. Брусиловского [6,44], В.А. Петрушина [8,26] и др. было показано, что для поддержки эффективности обучения в ИОС необходимы знания о предмете обучения, о стратегиях и методах обучения, знания об обучаемом, которые выделяются эксплицитно и реализуются с помощью различных методов и технологий ИИ. За этот период было предложено большое число подходов, точек зрения, конкретных моделей и формализмов для представлений знаний об обучаемом, используемых для организации процесса обучения [3-8,15,22,23,26,34-40,44-48] и значительно меньше для учета *личностных характеристик* обучаемых.

Как показано в [45], моделирование знаний об обучаемом преследует три основных цели - установление того «каков он есть» (так называемая *поведенческая модель*, реализуемая на основе задачи диагностики), «каким его хотим видеть» (стандартная нормативная модель, включающая требования к личностным качествам будущих специалистов и используемая для сравнения с текущей поведенческой) и «каким он может стать» (например, в свете модели компетенций). Иногда в нормативную модель обучаемого включают предметное *знание* и *умение* по конкретной дисциплине/курсу или рассматривают *пятикомпонентную* предметную модель как часть нормативной модели [45] и т.п.

Важнейшим преимуществом *веб-обучения* является возможность его проведения откуда угодно, в любое время, с любого компьютера и без

преподавателя. Однако общий подход к обучению, не учитывающий индивидуальные особенности обучаемого, не позволяет в полной мере воспользоваться всеми возможностями веб-технологиями, поэтому наиболее развитые веб-ИОС содержат модель обучаемого. Для реализации модели обучаемого используются различные архитектуры. В большинстве веб-ИОС модель обучаемого хранится на стороне сервера, но основные решения по поводу обучения принимаются клиентским приложением [3].

Наиболее интересная архитектура - веб-ИОС F-SMILE [12] отличается оригинальным для ИОС решением, представляя собой *много-агентную систему*, состоящую из пяти совместно работающих агентов, обеспечивающих мониторинг обучаемых и предоставление каждому из них индивидуализированных советов и необходимого обучения. Все агенты работают локально на компьютере обучаемого, а управляющий агент обеспечивает взаимодействие с веб-сервером для моделирования обучаемого. В качестве учебной дисциплины в данной системе рассматривается обучение работе с файловым хранилищем.

Если рассматривать уровень автоматизации процессов выявления *умений* обучаемого, то здесь наблюдаются достаточно скромные результаты, за исключением инструментальных систем семейства МОНАП [9-11], в составе которых разработаны средства поддержки *оверлейной модели умений* [9]. На основе этой модели осуществляется адаптивное управление обучаемым, заключающееся в выдаче ему на каждом шаге обучения по результатам решения учебной задачи релевантного учебного материала оптимальной трудности и сложности, который изложен в электронном учебнике.

Рассмотрим некоторые особенности реализации *модели обучения* в части использования обучающих воздействий типа «чтение ГТ-учебника» и «тренинг с ЭС» [34-36,48]. В случае использования обучающего воздействия «чтение ГТ-учебника» успех во многом зависит от *мотивации* обучаемого и его самодисциплины. Кроме того, несмотря на то, что ГТ-учебник позволяет исследовать большие объемы информации, однако проверить правильность и адекватность полученных знаний не представляется возможным, т.е. не хватает механизмов логического вывода, необходимых

для оценки действий обучаемых. Отсюда очевидна необходимость интеграции ЭС и ГТ в рамках ИЭС, как это было показано в ранних работах автора [48 и др.].

Особое место занимает реализация модели обучения за счет использования обучающего воздействия типа «тренинг с ЭС». Можно привести «за» и «против», связанные с использованием ЭС в *чистом виде* для целей обучения. Прежде всего то, что ЭС является достаточно слабым «инструктором», поскольку создается для решения неформализованных задач (НФ-задач) и осуществляет *генерацию* решений, вместо того, чтобы направлять усилия обучаемого на самостоятельный поиск решения. Для работы с ЭС в режиме консультации обучаемому требуется достаточно мощная мотивация, чтобы обучаться, анализируя логическую цепочку вывода. Кроме того, создание и поддержка ЭС требует много ресурсов (временных, финансовых, наличия экспертов и т.д.). Однако концепция ЭС включает в себя значительно больше, чем представление и обработка знаний о Про – здесь обеспечивается возможность проверки действий обучаемого с *динамической* обратной связью в процессе обучения для избежания ошибочных выводов, а также использование *отложенной* обратной связи для периодической оценки знаний обучаемого, причем оба процесса можно проводить неоднократно [41].

С точки зрения разработок и использования *моделей эталонных курсов/дисциплин*, то здесь не наблюдается особого разнообразия в предлагаемых подходах, поскольку описание структуры учебного курса/дисциплины во многом зависит от специфики используемых методик и алгоритмов обучения, личностных характеристик преподавателя, требований образовательных стандартов и т.д.

Однако есть некоторые общие проблемы, которые плохо решаются в традиционных ИОС, связанные с тем, что преподавателю трудно четко сформулировать содержание нового курса/дисциплины и дорабатывать его, не имея информации об оценке курса обучаемыми. Преподаватель не может осуществлять текущий мониторинг обучаемого, и как следствие – давать оперативные рекомендации по методике использования учебных средств. Для решения указанных проблем предлагались под-

ходы [46, 47], связанные, например, с созданием так называемого *обучаемого пространства курса*, модель которого включает в себя описание учебных целей содержания курса и учебных материалов.

В современных работах по ИОС, за исключением [49, 50], практически отсутствуют исследования, связанные с формированием *модели компетенций* обучаемого [51], отражающей его способности применять знания и личностные качества для успешной деятельности в конкретной профессиональной области, что является новым процессом в рамках создания и использования как ИОС, так и обучающих ИЭС и веб-ИЭС.

Эта модель может рассматриваться, как новый динамический компонент модели обучаемого, тесно связанный, с одной стороны, с психологическим портретом личности, а с другой – отражающий результаты использования конкретных обучающих воздействий, как это предложено, например, ЗОМ [52].

Рассматривая особенности программной реализации моделей обучаемых, следует отметить важное место, которое занимают в веб-ИОС и веб-ИЭС системы, поддерживающие *веб-тестирование* обучаемых для выявления текущего уровня знаний обучаемых. Если обратиться к истории ИОС, то контрольное тестирование является наиболее широко используемым средством проверки знаний обучаемых, поэтому тестирующие и опрашивающие компоненты были первыми компонентами, примененными в веб-обучении. Исчерпывающий обзор современных технологий веб-тестирования в дистанционном обучении можно найти в работах П.Л. Брусилковского [3], которым в Технологическом университете Д. Карнеги была создана также комплексная методика сравнения доступных систем. Нечто похожее для оценки качества программных комплексов дистанционного обучения было разработано в России [53].

Классический тест представляет собой последовательность вопросов, классифицирующихся чаще всего *по типам* ожидаемых ответов, а именно: «да/нет», «много вариантов/один ответ», «много вариантов/много ответов», а также вопросы открытого типа с текстовым или числовым ответом, вопросы несоответствия на правильную последовательность, на указание на рисунке, графические вопросы и т.п. Ответы

должны быть формально проверены и оценены в соответствии с используемыми методиками *оценивания*, которых существует огромное разнообразие, например [42] и др. Поэтому веб-инструментарий для ИОС и ИЭС должен включать специальные средства, поддерживающие весь ЖЦ тестирования, т.е. подготовки вопроса, выдачи вопросов и оценки ответов.

Для хранения вопросов во внутреннем формате (обычно в виде HTML-формы) и автоматической генерации опросов в современных ИОС предложено много различных вариантов, наиболее перспективным из которых является *адаптивная выдача вопросов*, базирующаяся на оверлейной модели обучаемого, в которой отдельно представлены знания обучаемым различных понятий и разделов курса/дисциплины. Большинство известных ИОС обеспечивают генерацию вопросов и тестов, адаптированных к уровню знаний обучаемого.

Для получения ответов обучаемого в современных ИОС используется в основном пять интерактивных технологий: HTML-ссылки, HTML/CGI-формы, скриптовые языки, внедрение (plug-in) и Java. Следует отметить, что самый высокий уровень выдачи вопросов обеспечивается Java, поскольку Java является языком программирования, разработанным для интеграции с функциональными возможностями браузера и Интернет.

Что касается поддержки технологий, связанных с *оцениванием* ответов обучаемых, то здесь чаще всего правильные и неправильные ответы готовятся в процессе создания системы,

поэтому оценка является либо жестко встроенной в вопрос типа «много вариантов/один ответ», либо в вопросах открытого типа осуществляется путем простого сравнения. Значительно реже используются специальные программы (для реализации сложных вычислений) или привлекается эксперт ПрО, запускаемый на стороне сервера с CGI-шлюзом.

### 3. Модели и методы построения обучающих ИЭС на основе задачно-ориентированной методологии

#### 3.1. Эвристическая модель «типовой задачи обучения»

Задача обучения является наименее формализованной в классе рассматриваемых в ЗОМ «типовых задач» [21], что связано со слабой разработкой педагогических и психологических теорий получения знаний, формирования понятий, построения умозаключений и др. проблемами. Однако НФ-задача обучения может быть легко декомпозирована на последовательность более простых задач, таких как *диагностика, интерпретация, планирование, проектирование*, следующих друг за другом в четко определенном порядке, что позволило автору уже в ранних работах середины 90-х годов [21-24, 48] предложить новый подход к построению обучающих ИЭС как частного случая ИЭС, связав решение перечисленных задач с построением соответствующих моделей – обучаемого (диаг-



Рис. 2. Эвристическая модель задачи обучения

ностика), обучения (планирование, проектирование), объяснение (интерпретация).

Поэтому с точки зрения концепции ЗОМ рассмотрение эвристической модели типовой задачи обучения  $M_T$  включает построение трех следующих подмоделей (Рис.2): модель обучаемого ( $M1$ ), модель обучения ( $M2$ ), модель объяснения ( $M3$ ). Отметим сразу, что модель ПрО, которую иногда относят к модели задачи обучения, рассматривается в данном случае исключительно в рамках традиционной ЭС. Возможным развитием модели  $M_T$  является факультативное включение модели учителя – эти вопросы рассматриваются далее в контексте использования некоторой эталонной модели  $M_e$ .

**Модель обучаемого ( $M1$ ).** Классификация существующих видов моделей  $M1$  в соответствии с [26] приведена на Рис.3, среди которых выделены *фиксирующие* и *имитационные* модели обучаемого. Первые представляют собой набор величин, характеризующих состояние *знаний* и *умений* обучаемого, а вторые - воссоздают представления обучаемого об изучаемой ПрО и его механизмы решения задач. Простейшим вариантом модели  $M1$  фиксирующего типа является *оверлейная векторная* модель, которая каждому изучаемому понятию и/или умению ставит в соответствие элемент, принимающий значения «знает/не знает», поэтому состояние знаний обучаемого определяется набором значений элементов вектора. Преимуществом векторной модели является ее простота, а недостатком – то, что она не только не отражает когнитивные процессы и методы решения задач обучаемого, но и игнорирует связи между понятиями. Конкретные реализации векторной модели  $M1$  описаны автором в работах [34-37]. Более гибкой формой модели  $M1$  является *сетевая оверлейная* модель, представляющая со-

бой граф, узлы которого соответствуют понятиям и/или умениям, а дуги - отношениям между ними. Каждому узлу и дуге сопоставляется некоторая величина или набор величин, характеризующих степень владения обучаемым данным понятием или умением, причем допускается наследование величин. Таким образом, модель  $M1$  включает следующие компоненты: в простейшем случае – учетную информацию об обучаемом (фамилия обучаемого, номер учебной группы, дата работы ( $P_l$  и пр.), а в более сложных – психологический портрет личности обучаемого ( $P_h$ ) в соответствии с [54]; начальный уровень знаний и умений обучаемого ( $M^{нач}_{обуч}$ ); заключительный уровень знаний и умений обучаемого ( $M^{кон}_{обуч}$ ); алгоритмы выявления уровней знаний и умений обучаемого ( $A$ ); алгоритмы психологического тестирования для выявления личностных характеристик, на основании которых формируется психологический портрет личности обучаемого ( $A_{ph}$ ). Под термином «знания», в соответствии с О.И. Ларичевым, понимается теоретическая подготовленность обучаемого (*декларативные знания*), а под термином «умения» - умение применять теорию при решении практических задач (*процедурные знания*).

Для реализации алгоритмов  $A$  и  $A_{ph}$  при формировании модели  $M1$  использован следующий набор процедур тестирования обучаемого: процедура ввода исходной информации (контрольных вопросов, вектора правильных ответов и весовых коэффициентов по каждому вопросу); процедура вывода вопросов и вариантов ответов в процессе проведения контроля знаний; процедура формирования оценки; процедура вычисления итоговой оценки. Модель  $M1$  содержит информацию о состоянии знаний обучаемого (модели  $M^{нач}_{обуч}$ ,  $M^{кон}_{обуч}$ ) — как об-

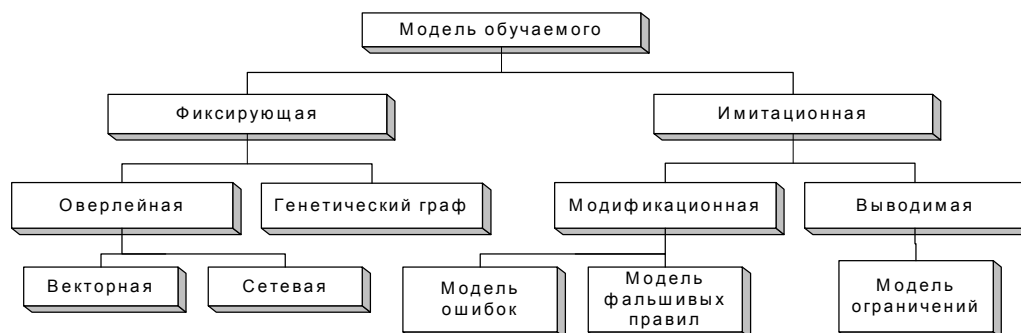


Рис. 3. Классификация моделей обучаемых [26]

щие, интегрированные характеристики, так и те, которые отражают усвоение им текущего учебного материала.

В общем виде сетевая модель обучаемого представляет собой конечный ориентированный граф, который может быть описан в виде  $M_{\text{обучаемого}} = \langle V, U \rangle$ , где  $V = \langle V^1, V^2 \rangle$  – множество вершин, которые в свою очередь делятся на  $V^1 = \{v^1_1, \dots, v^1_n\}$  – множество изучаемых понятий,  $n$  – количество изучаемых понятий, элемент  $v^1_i = \langle N, T, W \rangle$ ,  $i = 1, \dots, n$ , где  $N$  – изучаемое понятие;  $T = (0, 1)$ , принимает значения знает/не знает;  $W = (0, \dots, 10)$  – вес вершины;  $V^2 = \{v^2_1, \dots, v^2_m\}$  – множество умений, относящихся к данной модели,  $m$  – количество соответствующих умений, элемент  $v^2_j = \langle N, T, W \rangle$ ,  $j = 1, \dots, m$ , где  $N$  – изучаемое умение;  $T = (0, 1)$ , принимает значения умеет/не умеет;  $W = (0, \dots, 10)$  – вес вершины;  $U = \{uj\} = \langle V_k, V_l, R \rangle$ ,  $j = 1, \dots, m$  – множество связей между вершинами, где  $V_k$  – родительская вершина;  $V_l$  – дочерняя вершина;  $R = \{R_z\}$  – тип связи;  $z = 1, \dots, Z$ , где  $R_1$  – связь типа «часть-целое» (агрегация), показывает, что понятие/умение дочерней вершины является частью составного понятия/умения родительской вершины, причем если  $V_k \in V^1$ , то и  $V_l \in V^1$ ;  $R_2$  – связь типа «ассоциация», означает, что для владения понятием/умением родительской вершины необходимо владеть понятием/умением дочерней вершины;  $R_3$  – «слабая» связь, т.е. для владения понятием/умением родительской вершины владение понятием/умением дочерней вершины желательно, но не является необходимым.

Для формирования сетевой  $MI$  на ранних стадиях исследования был реализован достаточно несложный метод подсчета общей суммы баллов за предварительное тестирование: проверялось знание понятия либо владение умением только концевых вершин; балл за каждый конкретный вопрос (задание) начислялся равным произведению  $w_i * t_i$ , т.е. веса вершины  $i$  на параметр, фиксирующий выполнение/невыполнение задания вершины  $i$ ; неконцевая вершина считается зачтенной, если выполнялось следующее условие: сумма всех зачтенных вершин, дочерних по отношению к данной, больше половины суммы всех ее дочерних вершин (в этом случае вес данной вершины прибавлялся к общей сумме баллов); если вершина  $V_1$  связана с вершиной  $V_2$  связью типа «ассоциа-

ция» и если вершина  $V_1$  зачтена, а вершина  $V_2$  не зачтена, то из общей суммы баллов вычитался вес вершины  $V_1$ ;

Однако проведенные эксперименты показали, что данный алгоритм достаточно слабо выявлял корреляцию между отдельными темами/подтемами конкретного курса, для которого формируется модель  $MI$ , в соответствии с чем было введено понятие иерархической структуры курса, формируемой на основании анализа учебных планов по соответствующим курсам/дисциплинам.

В настоящее время разработана библиотека оценочных алгоритмов, гибко использующихся при проведении тестирования обучаемых в зависимости от специфики курса/дисциплины и контингента обучаемых. Например, эффективно применяется метод, основанный на сбалансированной оценке Т. Робертса [42] для вопросов закрытого типа и дополненный возможностью произвольного задания степени строгости оценивания, а также взвешиванием вопросов коэффициентами сложности, получаемыми на основе экспертной оценки. Под сбалансированностью в данном случае понимается независимость математического ожидания оценки от числа правильных и неправильных ответов, полученных на этот вопрос случайным образом.

Для формирования модели обучаемого  $MI$  используется эталонная модель  $M_e$ , соответствующая уровню знаний преподавателя о конкретном разделе изучаемого курса, с которой будут сравниваться получаемые на этапе построения  $MI$  результаты. Формально, эталонная модель  $M_e$  как и сетевая модель обучаемого представляет собой ориентированный граф, т.е. совокупность вида  $M_e = \langle V_e, U_e \rangle$ , где  $V_e$  – множество вершин, которые можно представить как  $V_e = \{v_{ei}, \dots, v_{en}\}$ , описывающих множество изучаемых тем в разделе  $P_j$ ,  $n$  – количество изучаемых тем; каждый элемент  $v_{ei} = \langle T, W, Q \rangle$ ,  $i = 1, \dots, n$ , где  $T_i$  – изучаемая тема текущего раздела  $P_j$ ;  $W = [0, \dots, 10]$  – вес вершины  $v_{ei}$  текущего раздела  $P_j$ ;  $Q$  – множество вопросов, представимое в виде  $Q = \langle F, S, I \rangle$ , где  $F$  – формулировка вопроса,  $S = \{s_1, \dots, s_n\}$  – множество ответов,  $I$  – идентификатор правильного ответа;  $U = \{uj\} = \langle V_k, V_l, R \rangle$ ,  $j = 1, \dots, m$  – множество связей между вершинами, где  $V_k$  – родительская вершина;  $V_l$  – дочерняя вершина;  $R$  – тип связи;  $R = \{R_z\}$ ,  $z = 1, \dots, Z$ ,  $R_1$  – связь типа



«часть-целое» (агрегация), означает, что дочерняя вершина является частью родительской вершины;  $R_2$  – связь типа «ассоциация», означает, что для владения понятием родительской вершины необходимо владеть понятием дочерней вершины;  $R_3$  – «слабая» связь, означает, что для владения понятием родительской вершины владение понятием дочерней вершины желательно, но не является необходимым.

Процесс формирования  $M_e$  можно представить в виде следующей последовательности действий:

- формирование списка тем для каждого раздела курса/дисциплины, для которого формируется  $M_e$  и взвешивание всех тем с помощью весового коэффициента  $W$ ;

- формирование вопросов к темам, т.е. выбор подмножества тем, для которых будут заданы вопросы, и построение формулировок вариантов ответов к ним с фиксацией правильного варианта ответа (ответов);

- формирования связей между темами на основе использования разработанного в ЗОМ адаптивного метода репертуарных решеток (АМРР) [21,24], т.е. выявление преподавателем-предметником конструкторов  $K_i$  (отличительных признаков), оценка по шкале  $[0, 100]$  всех тем текущего раздела по выявленным конструкторам.

Динамическое построение сетевой модели обучаемого  $MI$  осуществляется путем сравнения текущей  $MI$  с предварительно построенной преподавателем эталонной моделью  $M_e$ . Важно отметить что на этом этапе наряду с выявлением уровня знаний и умений осуществляется построение психологического портрета личности. В ранних исследованиях по созданию обучающих ИЭС психологический портрет учитывал только такие личностные характеристики как тип мышления – интуитивный/логический, для выявления которых использовались объединенные тесты В.В. Гуленко и Е.С. Филатовой [7], затем диапазон личностных характеристик был расширен.

В настоящее время специальная БД комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ насчитывает около пятидесяти именных тестов для выявления личностных характеристик обучаемого. Для формирования психологического портрета личности перед этапом формирования текущей модели обучаемого преподавателю предлагается скомпоновать набор тестов для выявления

необходимых в данном случае личностных характеристик. Расширение диапазона личностных характеристик психологического портрета личности и использование их в алгоритмах построения моделей обучаемого и обучения позволяет более полно учитывать индивидуальные особенности обучаемого и формировать более эффективные стратегии обучения студентов образовательных учреждений.

Предусмотрено проведение двухэтапного тестирования обучаемого с целью выявления текущего уровня знаний, а именно: тестирование по темам, где обучаемому предлагается ответить на тест, составленный из выбранных преподавателем вопросов  $Q_k$  к темам раздела  $v_{ei}$ ; тестирование на отличительные признаки тем, когда обучаемому предлагается оценить все темы  $v_{ei}$  по выявленным преподавателем конструкторам  $K_l$ .

Множество ответов, полученных при тестировании, сравнивается с элементом  $Q_k$  модели  $M_e$  и выявляется тип связи  $R_z$  между темами  $v_{ei}$ , на основе чего формируется текущая модель  $MI$ . Производится формирование оценки за конкретную тему (вершину) по одной из определенных преподавателем методик, а затем выявляются связи между темами  $v_{ei}$  с помощью специальной процедуры генерации признаков, на основе чего происходит означивание конкретных вершин и связей в графе, с помощью которого описана сетевая модель обучаемого, т.е. формируется текущая модель обучаемого  $MI$ . Поскольку в применяемом методе оценивания в контрольных тестах используются вопросы  $q_i$  из разных тем, то сначала выбирается подмножество вопросов  $\tilde{Q}$  множества  $Q$ , относящихся к конкретной теме  $T_j$ , а соответствующая итоговая оценка  $R_j$  складывается из оценок по каждому вопросу  $R_i$ , взвешенному коэффициентом сложности  $C_i$ , с последующим отображением на отрезок  $[0,1]$ .

$$R_j = \frac{\sum_{i \in \tilde{Q}} R_i \cdot C_i}{\sum_{i \in \tilde{Q}} C_i},$$

где  $R_i$  – оценка за вопрос  $q_i$ ;

$C_i$  – коэффициент сложности вопроса  $q_i$ ;

$\tilde{Q}$  – подмножество вопросов, относящихся

к теме  $T_j$ ;  $\tilde{Q} \subset Q$ ;

$R_j$  – итоговая оценка за конкретную тему  $T_j$ ;  
 $Q=\{q_i\}$  – множество всех вопросов,  $i=1 \dots n$ ;  
 $T=\{T_j\}$  – множество всех тем,  $j=1 \dots m$ ;  
 $R=\{R_j\}$  – множество всех оценок за темы,  
 $j=1 \dots m$ .

**Модель обучения (M2).** В общем случае, модель обучения содержит знания о планировании и организации (проектировании) процесса обучения, общих и частных методиках обучения, поэтому предложенная модель  $M2$  включает следующие компоненты: совокупность моделей  $MI$ ; совокупность стратегий обучения и обучающих воздействий; функцию выбора стратегий обучения или генерации стратегий обучения в зависимости от входной модели  $MI$  (для адаптивной модели  $M2$ ).

Отметим при этом, что управление обучением осуществляется на основе некоторого плана, который либо выбирается из библиотеки планов (стратегий обучения), либо генерируется автоматически на основе параметров  $MI$ , причем каждая стратегия обучения состоит из определенной последовательности учебных воздействий. В качестве учебных воздействий могут быть: комментарии; тестовые задачи; тренинг с ЭС; объяснения полученных результатов; фрагмент ГТ; подсказка; локализация ошибочных действий; контроль правильности решения и др. Каждая стратегия обучения характеризуется своим набором и порядком применения учебных воздействий, содержание которых определяется степенью конкретизации поставленной задачи, зависящей от уровня знаний и умений обучаемого, его психологического портрета, т.е. от модели  $MI$ . Функция выбора стратегии обучения обеспечивает настройку на соответствующую стратегию обучения в зависимости от состояния модели  $MI$ , а входными параметрами для этой функции являются: начальный уровень знаний и умений обучаемого, а также тип сценария диалога, зависящий от уровня знаний и умений обучаемого и вида учебного материала.

Теоретико-множественное описание адаптивной модели  $M2$  представляет собой совокупность вида  $M2 = \langle MI, S, I, F \rangle$ , где  $MI = \{MI_1, \dots, MI_n\}$  – множество текущих моделей обучаемого;  $S = \{S_1, \dots, S_m\}$  – множество стратегий обучения  $S_i$ ,  $i = 1 \dots m$ , в виде упорядоченных подмножеств множества обучающих воздействий для той или иной модели обучае-

мого;  $I = \{I_1, \dots, I_z\}$  – множество обучающих воздействий  $I_j$ , где  $I_j = \{t_k i_l\}$   $t_k$  – тип обучающего воздействия, а  $i_l$  – содержание воздействия,  $j=1, \dots, z$ ,  $k=1, \dots, c$ ,  $l=1, \dots, v$ ;  $F$  – функции (алгоритмы) генерации стратегий обучения в зависимости от входной модели обучаемого, т.е.  $M2=F(MI, Me, I)$ , где  $Me$  – эталонная модель курса (дисциплины), заданная преподавателем.

Рассмотрим некоторые особенности формирования адаптивной модели  $M2$ . Генерация стратегии обучения  $s_i$  происходит путем сравнения текущей модели обучаемого  $MI_i$  с эталонной моделью курса  $Me$ . В процессе сравнения двух моделей из множества обучающих воздействий  $I$  формируется подмножество воздействий  $\tilde{I}$  ( $\tilde{I} \subset I$ ), изучение которых необходимо для успешного обучения. Затем производится анализ психологического портрета личности обучаемого, на основании которого осуществляется упорядочивание данного подмножества  $\tilde{I}$ , т.е. в первую очередь будут применяться те обучающие воздействия, изучение которых дается обучаемому легче. На этом процесс формирования  $M2$  заканчивается и начинается процесс обучения в соответствии с  $s_i$ , который продолжается до так называемого «рубежного контроля» (тип  $I_j$ ), после чего осуществляется переход на следующую ступень итерации с модернизацией модели  $MI$  и адаптацией под нее модели  $M2$ . Процесс продолжается до достижения необходимого уровня усвоения обучаемым материала.

Обучающее воздействие  $I_j$  можно представить в виде  $I_j = \{t_k, i_l\}$ , где  $t_k$  – тип обучающего воздействия, а  $i_l$  – содержание воздействия,  $k=1 \div c$ ,  $l=1 \div v$ . В свою очередь тип обучающего воздействия можно представить в виде:  $t = \langle N, H, P, W, In \rangle$ , где  $N$  – название обучающего воздействия;  $H = \{h1, h2\}$  – характер обучающего воздействия:  $h1$  – теоретическое освоение материала,  $h2$  – практическое освоение материала;  $P = \{0, \dots, 10\}$  – показатель восприимчивости например, (показывает для какого типа мышления больше подходит обучающее воздействие): 10 – логический тип, 0 – интуитивный;  $W = \{w_1, \dots, w_n\}$  – степень важности (показывает насколько важно, чтобы обучаемый усвоил данный материал);  $In = \{lo, in\}$  – степень интегральности воздействия (область применимости воздействия), где  $lo$  – воздействие связано только с соответствующей темой,  $in$  – воз-

действие охватывает положения, рассматриваемые в предыдущих единицах учебного материала.

В свою очередь содержание обучающего воздействия  $i$  представляет собой конкретный вид обучающего воздействия:  $i = \{Ch, Pr, Tr, Ex, Pa\}$ , где  $Ch = \{M_1, M_2\}$  – глава ГТ-учебника, где  $M_1$  – HTML-модель ГТ,  $M_2$  – XML-модель ГТ;  $Pr = \{S, R\}$  – презентация;  $S = \{S_1, \dots, S_n\}$  – способ представления информации:  $S_1$  – последовательность ГТ-страниц (ГТ-модель),  $S_2$  – видеоролик (avi, mpeg),  $S_3$  – исполняемый файл (exe);  $R = \{n, y\}$  – возможность возврата к предыдущему «экрану» (если презентация создается с помощью встроенного редактора):  $n$  – нет возможности возврата,  $y$  – возможность возврата предусмотрена;  $Ex$  – тренинг с ЭС;  $Tr = \langle D_a, C, V, V_u, O_v, Pa \rangle$  – учебно-тренировочная задача, где  $D_a$  – исходные данные,  $C$  – ограничения, которые должны быть учтены при выполнении УТЗ,  $V$  – правильные ответы,  $V_u = \{V_1, \dots, V_n\}$  – описание способа ввода результата, где  $V_1$  – численное значение или интервал,  $V_2$  – набор альтернативных вариантов,  $V_3$  – набор вариантов,  $V_4$  – заполнение пропусков в текстах,  $V_5$  – выбор компонентов решения из перечня,  $V_6$  – маркировка текста,  $V_7$  – построение связей между элементами графического представления;  $O_v$  – функция оценивания результата  $O_v(V_s, V) \rightarrow R$ , где  $R$  – множество оценок,  $V_s$  – введенный результат;  $Pa = \{Pa_1, \dots, Pa_n\}$  – работа с ППП расчетного и графического характера:  $Pa_i$  – конкретный вид ППП, интеграцию с которым поддерживает комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, например,  $Pa_1$  – Калькулятор,  $Pa_2$  – Excel,  $Pa_3$  – MathCad,  $Pa_4$  – Photoshop и др.

Опыт использования ЗОМ и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для разработки целого ряда обучающих ИЭС показал необходимость дальнейшего развития модели  $M2$  до уровня адаптивной, поскольку адаптивная модель обучения является более гибкой и адекватной моделью, т.к. учитывает индивидуальные особенности обучаемого на всех этапах передачи знаний. Разработка алгоритмической базы в этом случае связана с реализацией совокупности процедур генерации и динамической модификации стратегий обучения, представляющих собой упорядоченную последовательность вышечисленных обучающих воздействий, эффективных на данном этапе обучения.

В качестве примера рассмотрим процедуру формирования конкретной стратегии обучения на основе учета таких личностных характеристик как *внимание*, *воля* и *темперамент*. Для этой цели на этапе выявления начального уровня знаний каждому обучаемому предлагается пройти тестирование на основе использования теста Айзенка, зарегистрированного в специальной БД комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, по завершению которого на вход компонента формирования стратегий обучения поступают конкретные значения параметров «внимание» (такие как *переключаемость* или *рассеянность*), «воля» (например *целеустремленность* или *инициативность*) и «темперамент» (например *сангвиник*).

Если параметр «внимание» принимает значение *рассеянность* и параметр «темперамент» принимает значение *холерик* или *меланхолик*, то в стратегию обучения добавляется обучающее воздействие «Презентация». Если параметр «темперамент» принимает значение *холерик* и параметр «воля» принимает значение *целеустремленность* или *решительность*, то с коэффициентом 0.95 (экспертная оценка) *сеанс обучения* равен одному академическому часу. Если параметр «внимание» принимает значение *рассеянность* и параметр «темперамент» принимает значение *сангвиник*, то с коэффициентом 0.75 (экспертная оценка) в стратегию обучения добавляется обучающее воздействие «Чтение ГТ-учебника». Если параметр «темперамент» принимает значение *сангвиник* и параметр «воля» принимает значение *энергичность*, то с коэффициентом 0.75 (экспертная оценка) в стратегию обучения добавляется обучающее воздействие «Тренинг с ЭС».

**Модель объяснения (M3).** Модель  $M3$  разрабатывалась исходя из того, что существующие способы реализации методов объяснения в традиционных ЭС не в полной степени удовлетворяют целям обучения, в частности, моделям  $M1$  и  $M2$ , поэтому текущая версия модели  $M3$ , ориентированная на продукционные модели представления знаний, включает следующие компоненты:

$M3_G$  – целевые процедуры, обеспечивающие объяснение хода решения задачи путем генерации на экране дисплея текстов объяснений, содержащих описания правил, использованных в выводе (записанные объяснения), а

Важной особенностью веб-версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ является возможность проведения интервьюирования экспертов в среде Интернет, частично реализуя процессы *веб-извлечения* знаний, что достигается за счет использования специализированного инструментария разработки веб-приложений. Другая особенность связана с реализацией веб-подхода к построению средств общения веб-ИЭС, в соответствии с чем решается задача конвертации текстовых описаний форм приложений из традиционных форматов Delphi(DFM) или Visual Basic(FRM) в формат языка внутреннего описания веб-ИЭС и веб-инструментария, что обеспечивает следующие преимущества при работе с формами: единый набор средств представления элементов пользовательского интерфейса для подсистем веб-инструментария и веб-ИЭС; возможность интеграции форм приложений, созданных в общедоступных редакторах форм, поставляемых в качестве компонентов, например, с такими продуктами, как Delphi, C++ Builder и Visual Basic в подсистемы комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ; возможность использования уже разработанных диалоговых форм (в формате DFM или FRM) в подсистемах комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

Дополнительно реализован инструментарий для визуального проектирования веб-интерфейса с поддержкой конвертирования в формат внутреннего описания пользовательского интерфейса комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, для чего разработан специализированный подход к построению средств визуального проектирования и конвертирования в различные форматы веб-форм прикладных ИЭС, использующий язык внутреннего описания элементов веб-интерфейса. В настоящее время создан программный прототип инструментария для визуального проектирования и конвертирования в различные форматы веб-форм (на примере форматов описания форм Delphi и Visual Basic), а в дальнейшем планируется его расширение за счет поддержки дополнительных элементов пользовательского интерфейса и других форматов описания форм.

### 3.6. Применение веб-инструментария для создания обучающих веб-ИЭС

Одним из первых практических применений веб-версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ являлась разработка обучающих веб-ИЭС на основе

модификации нескольких базовых ИЭС, использующихся в учебном процессе кафедры кибернетики МИФИ. Базовая версия обучающей ИЭС представляет собой традиционное «настольное» приложение с ограниченной клиент-серверной функциональностью, поэтому ее практическое применение требует проведения значительного объема дополнительной работы от команды инженеров по знаниям и администраторов, связанной со сбором и обработкой результатов каждого текущего тестирования обучаемых (с целью построения моделей обучаемых), что, учитывая человеческий фактор, постоянно приводит к таким проблемам, как искажение и потеря данных и т.д.

Применение веб-версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для создания нескольких обучающих веб-ИЭС позволило централизовать процессы сбора и обработки данных для всего контингента обучаемых, а также решить проблемы безопасности и контроля доступа, поскольку обучаемые не имеют доступа к приложению и его компонентам, а работают только с пользовательским интерфейсом приложения через веб-браузер. С помощью реализации подхода «сервер-главный» (тонкий клиент) вся логика приложения была сосредоточена на едином сервере, что обеспечило контроль над загрузкой сервера, устранение рутинных задач сбора данных протоколов тестирования и существенно упростило работу администраторов системы. Кроме того, использование технологии Adobe Flash 9 для реализации клиентского приложения обучающих веб-ИЭС открыло дополнительные возможности по ее расширению за счет не только широкого набора стандартных элементов управления, но также за счет централизованного и простого использования видео- и аудиоматериалов в ходе обучения.

В настоящее время базовая и веб-версия версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ входят в состав имитационно-моделирующего стенда (ИМС), предназначенного для обучения студентов и аспирантов МИФИ и других ВУЗов новым методам и технологиям построения статических и динамических интеллектуальных систем. На базе ИМС уже в течение ряда лет проводятся учебные занятия по нескольким учебным дисциплинам, выполняются курсовые и дипломные проекты, совместные исследования с рядом кафедр и подразделений МИФИ.