

# Компьютерные обучающие системы\*

П.А. Алисейчик, К. Вашик, Ж. Кнап, В.Б. Кудрявцев,  
А.С. Строгалов, С.Г. Шеховцов

## Введение

Проблемы создания эффективных систем обучения (в том числе и систем, базирующихся на современной компьютерной технике и компьютерных технологиях), равно как и создание новых форм и способов представления учебного материала, поиска новых педагогических приемов и средств преподавания особо обострились в последнее десятилетие XX века, по-видимому, в связи с началом глубокого общего кризиса национальных образовательных систем. В основе кризиса лежит тот самый «информационный бум», о котором давно говорили, однако эффект его был не так значителен, как после появления в массовом количестве персональных компьютеров, электронной почты и сети Интернет, что значительно увеличило объем доступной информации, качество и скорость работы с ней по сравнению с предшествующим периодом, когда основными носителями информации были бумага, кино-, фотоленка и пр. Вместе с тем цифровые технологии породили проблемы поиска нужной информации за «разумное» время в громадных базах данных современных информационных систем, что делает почти невозможным их применение в учебном процессе без предварительных настроек, создания специальных фильтров и систем поиска нужной информации для учебных и образовательных задач.

Современный образовательный кризис носит глобальный характер, поскольку сейчас нет ни одной развитой страны мира, которая

---

\*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 02-01-00162.

бы не пыталась поставить перед собой задачи изменения системы образования (а в ряде случаев предпринять и определенные действия) с целью повышения ее эффективности. Отражением этих мировых тенденций и попыткой выйти из этого кризиса путем заимствования (главным образом американского и частично западноевропейского) опыта в образовательной сфере является процесс проведения очередных реформ в области образования в настоящее время в России. К сожалению, заимствования носят внешний характер: увеличение времени обучения, реализация тенденции к упрощению ряда учебных материалов, снижение требований к ученикам, к системе подготовки и переподготовки учителей, введение более ранней специализации (естественнонаучные направления, гуманитарные и т.д.) на довузовском уровне, введение систем тестирования и единого государственного экзамена и т.д. В общем, очередные преобразования затрагивают отдельные и часто лишь формальные стороны образовательного процесса, а не суть его. Если оставить в стороне финансовую сторону образовательных процессов, то, в первую очередь, хотелось бы обратить внимание на неконструктивный характер реформирования образования. Говорится о благих намерениях, о гуманизации образования и т.д., но не сообщается как это будет делаться и за счет чего и, главное, почему вдруг эти цели становятся достижимыми, хотя еще на слуху у многих печальные итоги реформаторской деятельности в образовательной области в 60–70-х годах? В качестве примера такого рода прикрытия могут служить, например, широковещательные оптимистические заявления, о том, что новые компьютерные и информационные технологии (в том числе сетевые) помогут преодолеть образовательный кризис. Серьезных оснований для таких заявлений нет, ибо они базируются лишь на мнениях отдельных специалистов.

Интересно обратиться к зарубежному опыту. Президент Л. Джонсон в годы апогея американского изобилия поручил корпорации «РЭНД»... изучить широкое поле исследований в области методов обучения, как старых, так и новых, существовавших в США, и определить их эффективность. Идея заключалась в том, что Америка должна повышать эффективность образования, вкладывая средства в те методы обучения, которые окажутся наилучшими. В опубликованном в 1972 г. отчете РЭНД [9], однако, отмечалось, что «проведен-

ные исследования не позволили обнаружить ничего, что значительно и явно сказалось бы на результатах обучения...» и далее «... вероятно, значительное улучшение результатов обучения может быть достигнуто лишь с применением совершенно иной системы образования». Здесь же [9] сообщается, что были проанализированы восемь основных докладов, посвященных проблемам образования в Америке (*это середина 80-х – начало 90-х годов XX века – прим. авторов*), и оказалось, что ни в одном из них не содержалось каких-либо серьезных предложений, и, хотя в них присутствовало признание необходимости внедрять в обучение новые информационные технологии, в основном все доклады предполагали сохранение обычной модели классного обучения. В связи со сказанным возникает ряд вопросов, связанных как с попытками реформирования образования, так и с использованием компьютерной техники в процессах обучения, на которые необходимо ответить в первую очередь, а уж затем пытаться анализировать успехи и неудачи по применению тех или иных программных продуктов в сфере образования.

В частности, к таким вопросам относятся, например, следующие:

- Каковы недостатки нынешнего образовательного процесса и какие принципиально новые требования к системе образования надо предъявлять?
- Почему все предыдущие попытки реформирования системы образования не дали желаемого результата?
- Какие принципиально новые возможности для повышения эффективности образовательного процесса таят в себе современные информационные технологии?
- Возможны ли в принципе обучающие программы или, как иногда говорят, компьютерные системы обучения, и какой интеллектуальный уровень обучения в них достигим?
- Возможно ли создание компьютерных обучающих сред, и какими обязательными качествами должны обладать эти обучающие среды, чтобы быть средством обновления образовательного процесса по сути, а не только по внешним признакам?
- Каким образом достичь этих целей?

Это лишь часть вопросов по теме реформирования образования. Актуальность этих вопросов слабо зависит от времени. Так, еще в 1958 г. президент США Джон Кеннеди говорил следующее [10]: «Мы в кризисе, и не русские спутники положили ему начало. Американский «Эксплорер» не положил ему конца. Кризис носит не только военный характер. Величайшая опасность, угрожающая нам, не ядерное нападение. Голая правда такова: мы подвергаемся величайшей опасности проиграть титаническое соревнование с Россией, причем при этом не будет запущена ни одна ракета. Год назад при обсуждении внешних дел, вероятно, не упомянули бы просвещения. Сегодня мы не можем избежать этого. Я не знаю, верно ли, что битва при Ватерлоо была выиграна на площадках для игр в Итоне. Однако не будет преувеличением сказать, что битва, которую ведем мы сейчас, может быть выиграна или проиграна в школьных классах Америки. <...> Мы должны положить конец такому положению, когда только четверо из пяти наших лучших школьников оканчивают школу и только двое из пяти идут в колледж. Мы не можем позволить себе платить преподавателям в колледжах и школах, развивающим умы наших детей, меньше, чем мы платим слесарям и водопроводчикам, обслуживающим наши дома... Если согласиться с нашим бывшим министром обороны в том, что в теоретических исследованиях «нельзя заранее знать, куда идешь», тогда наши ученые будут заниматься только прикладными вопросами. Если вы презираете интеллигенцию, мешаете ученым и вознаграждаете только спортивные достижения, тогда наше будущее действительно мрачно». Это говорилось непосредственно перед принятием уникального закона «Об образовании в целях обороны», принятого США в 1958 г., и это было всего лишь начало. Далее деятельность Дж. Кеннеди уже как президента по развитию национального образования носила значительно более масштабный характер — помимо одобренных конгрессом ассигнований его администрация находила и организовывала дополнительные и весьма значительные источники средств. И еще одна характерная цитата [9]: «В 1983 г., когда Америка откатилась назад, были проанализированы причины потери ею конкурентоспособности на международной арене, которые, похоже, связаны были с системой образования, Национальный комитет усовершенствования образования (НСОЕИЕ) опубли-

ликовал доклад под названием „Нация в опасности“. Это был уже не первый доклад, выражавший глубокую озабоченность снижением качества образования, но он поразил воображение общественности следующей фразой: „Если бы посредственная образовательная система, существующая сегодня в Америке, была навязана некоей враждебной иностранной державой, мы могли бы расценивать это как ведение войны“». Думается, что эти цитаты заставляют, по крайней мере, задуматься над проблемой и последствиями принятых решений на этот счет.

Вернемся к вопросам, сформулированным нами выше. Несмотря на их «очевидность», готовых ответов (кроме чисто тривиальных либо декларативных — типа «да, возможно»), а также решений, которые можно было бы смело переносить в реальный образовательный процесс, пока не существует.

В работах [1–5, 7–8] нами был дан частичный ответ на поставленные вопросы и отмечены причины, затрудняющие поиск решений. Отметим также, что несмотря на обилие различных компьютерных «образовательных» продуктов, это не привело ни к существенному повышению качества процесса обучения, ни к сокращению хотя бы его времени, ни к массовому их использованию в реальном образовательном процессе. В равном положении находится и идея «дистанционного» образования, если под этим не понимать хорошо известные формы заочного обучения на базе современных телекоммуникационных систем. Недостатки этой формы обучения (в неэлектронном исполнении) хорошо известны, а использование телекоммуникаций в том виде, как это делается в учебном процессе сейчас, увы, не способствуют качественному усвоению материала и приобретению новых знаний учениками при такой форме обучения, ибо реализация плохо продуманной идеи дистанционного образования даже на суперсовременной технике не только не улучшит качество образования, но и приведет к обратному эффекту. Справедливости ради надо отметить, что существуют образовательные задачи, которые могут быть успешно решены (и решаются) на основе современных сетевых технологий — это проведение краткосрочных курсов переподготовки (и то не в произвольной предметной области), задачи интенсивного тренинга, задачи информационного обеспечения и наполнения учебного процесса и т.д.

Отметим одну парадоксальную ситуацию. Сейчас, наряду с учебниками и задачками, стало модным издавать сборники решений задач. Таким образом процесс обучения сводится к следующему. Ученик получает задание от учителя, по учебнику берет «решебник», находит нужную задачу, переписывает ее в тетрадь (либо запоминает), пересказывает учителю и получает оценку (то есть хорошо знакомая школьникам и студентам многих поколений схема «выучил — повторил — сдал — забыл»). При таком образовательном процессе наилучшими учениками оказываются дети с хорошей памятью. Конечно, учитель может задавать дополнительные вопросы, задачи и т.д., однако они в достаточной степени типизированы и хорошие «решебники» попутно содержат и их. Странной на этом фоне выглядит борьба со шпаргалками в средней и высшей школе. Неплохо, если ученик **сам** подготовил конспект с ответами на вопросы и пользуется им при подготовке к ответу. Как раз бы можно и поощрить его за самостоятельную работу, если это не просто переписанные мелким почерком один к одному отрывки из учебников, хотя и простое переписывание несет важную функцию концентрации внимания и запоминания, а уж если отобрана лишь важная и нужная информация, то это ясно говорит об уровне понимания им, какие ответы ждет учитель от ученика.

Заметим, что косвенно эту точку зрения подтверждает замечательная компьютерная программа по решению математических задач в символьном виде, созданная профессором А.С. Подколзиным [6]. На основе специально разработанной модели представления знаний и процедур вывода из них новых фактов ему удалось настолько хорошо смоделировать процесс решения математических задач, что часто компьютер решает их лучше и намного быстрее человека. При этом компьютер использует тщательно отобранный, отфильтрованный и специальным образом организованный арсенал готовых форм, приемов и способов решений математических задач. Кстати, эта программа еще может дать и пошаговые объяснения обоснованности применения правил в процессе решения задачи и, кроме того, она является обучаемой экспертом. Таким образом, компьютерный решатель математических задач проф. А.С. Подколзина демонстрирует возможность создания интеллектуальных систем, по своим воз-

возможностям сравнимых с интеллектом человека. Здесь возникает ряд очень важных вопросов, которые выходят за рамки статьи, но которые, по крайней мере, следовало бы обозначить.

- Если удалось обучить компьютер, то почему значительная часть детей в школе не овладевает стандартным школьным курсом математики, и далее это непонимание распространяется, соответственно, на высшую школу?
- Может ли считаться образованным человек, не владеющей пониманием математического способа рассуждений?
- Существует ли гуманитарный аспект математики и в чем он состоит?

Список вопросов можно продолжить.

Естественно, что вопросы, заданные нами выше, имеют ответы [11–13], и надо думать, что не последнюю роль в процессе обучения играет предметное содержание изучаемых разделов. Об этой проблеме — о содержании образования — много говорят и дискутируют и особенно по проблеме соотношении гуманитарного и естественнонаучного знания. Грубо говоря, в настоящее время линия раздела проходит по количеству часов, отведенных на изучение математики, физики, химии и других предметов цикла естественнонаучных дисциплин в сравнении с предметами так называемого гуманитарного цикла (как правило, это те дисциплины, где нет математики, базирующейся на формализованных исчислениях). При этом мало кто задается глубоко вопросами типа:

- А что дает изучение той или иной дисциплины, в чем ее фундаментальный и общекультурный смысл?
- Существует ли предел базовых знаний, ниже которых невозможно объяснить смысл следующего в порядке обучения предмета?
- Почему в школе надо изучать физику, химию и т.д., но не надо изучать физхимию или химфизику?
- Что такое фундаментальное знание и фундаментальные предметные области?

В частности, возникает вопрос о том, какой набор базовых знаний необходим, если говорить о новой образовательной модели, и как должен выглядеть их электронный образ? Анализ моделей и собственные разработки в образовательной области [1, 5, 7–8] позволяют сделать вывод, что простое отображение учебных материалов в электронном виде (в том числе методичек, тестов и т.д.) не слишком сильно добавляет в части эффективности образовательного процесса, зато весьма удорожает его, если учитывать затраты на создание и поддержание соответствующей инфраструктуры для электронной модели учебного процесса. Необходимо, например, наличие специально разработанных и тщательно продуманных образовательных трасс (систем навигации) по такого рода учебному материалу, что не решается на основе имеющихся стандартных сетевых средств, а требует специальных решений, если мы стремимся к достижению нового уровня качества образования. В частности, поэтому Internet не является ни образовательной, ни обучающей средой, но может играть (и реально это происходит) важную роль в информационном насыщении образовательной среды.

Проводился анализ процесса обучения с точки зрения создания типологии имеющихся образовательных задач, типов упражнений и т.д. с целью создания компьютерных обучающих систем, а также технологий их создания в различных предметных областях, при этом нас интересовала на первом этапе исследований технология создания компьютерных интерактивных обучающих систем с элементами интеллектуального поведения, которое зависит от поведения ученика в процессе его обучения и его успехов в достижении учебных целей и т.д. Довольно легко формулируются требования, например, к компьютерным обучающим системам и программам, чтобы они были привлекательны для использования в учебном процессе [1], мы перечислим некоторые из них.

- Оформление отдельных страниц экрана должно характеризоваться интуитивно понятным интерфейсом за счет применения графики, цвета, и пр.
- Должны быть предусмотрены многочисленные (в том числе и многоуровневые) разветвления обучающей программы, то есть

невозможен только «линейный» (последовательный, шаг за шагом) порядок выполнения программы. Более точно, такой режим допустим, но он не должен быть единственной стратегией обучения и кроме того такой режим возможен в процессе пошагового разбора плохо усвоенного материала.

- Должны иметься разнообразные возможности использования учеником различных вспомогательных средств при возникновении проблем в процессе обучения. Это системы подсказок, ссылок на дополнительные обучающие материалы, выходы на иные информационные материалы и т.д., вплоть до изменения стратегии обучения.
- Должен иметься большой запас разнообразных мотивирующих и информирующих (обратных) сообщений (адекватных для восприятия обучающимися), то есть вариативность множества сообщений обучающей программы должна быть «достаточно» большой. Это требование распространяется и на процесс повторения учебного материала. Кроме того при повторении должен быть в наличии иной материал с заданиями, чем при обучении.
- Должно быть многообразие вариаций в постановке заданий, разнообразные возможности взаимодействия с обучающей программой, как системный принцип ее построения.
- Должна быть обеспечена постоянная привязка времени и темпа обучения к уровню результатов каждого отдельного обучающегося и его психофизическим возможностям восприятия материала обучения (адаптация к обучающемуся), что предполагает наличие в системе разнообразия стратегий обучения в зависимости от типа ученика.
- Обучающийся может активно вмешиваться в регулирование хода программы (уменьшение или углубление материала, выход на дополнительные упражнения, изменение темпа обучения и т.д.)
- Должна иметься возможность прерывания процесса обучения в любой момент времени с сохранением достигнутых к этому моменту результатов обучения студента (протокол обучения). Естественно, что должна также обеспечиваться возможность

продолжения занятия с того места, на котором оно было прервано, или возврата к началу (по желанию ученика).

Набор таких достаточно очевидных требований можно расширять, но уже этот простой по своим формулировкам список резко сужает набор компьютерных систем, претендующих быть еще и обучающими системами. И главный вопрос, который возникает, если принять этот список за отправную точку, как делать такие системы, обладающие к тому же интеллектуальными функциями? Ответ на этот вопрос также пока находится в исследовательской стадии и далее мы изложим некоторые наши результаты, полученные в этой области за последние несколько лет.

## 1. Опыт создания обучающих систем

Одним из примеров решения проблем создания интеллектуальных обучающих систем является проект «IDEA» (создание экспертных систем в области обучения по различным предметным областям) [1]. В нем предлагалось создание на основе автоматных моделей [3] моделей ученика и учителя, которые взаимодействуют между собой через пространство учебного материала, формализованного в виде, например, размеченных информационных деревьев или нагруженных графов более общего вида. Удалось построить удачные примеры обучающих систем в области изучения иностранных языков (в том числе и с применением экспертной системы), которые однако не были развиты до своего полного завершения из-за необходимости создания большого набора решающих правил, что требовало больших затрат ресурсов, которыми организаторы работ в то время не обладали.

Проект «IDEA» возник в 1990 г. в результате научного сотрудничества сначала лаборатории «Проблем теоретической кибернетики», а затем и кафедры «Математической теории интеллектуальных систем» механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (инициатор и руководитель работ — зав. кафедрой академик д.ф.-м.н. проф. Кудрявцев В.Б.) и Института русской и советской культуры Рурского университета (г. Бохум, Германия) (зам. директора института д-р К. Вашик). Проект был одним из первых российско-

германских научных проектов в этой области, давший мощный толчок для исследований по проблемам компьютерных систем обучения на высоком междисциплинарном уровне. Позднее к проекту подключилась немецкая фирма Link&Link GmbH, которая и финансировала разработку. Первая версия инструментальной системы для разработки интеллектуальных обучающих систем появилась примерно в середине 1992 г. и включала в себя: авторскую систему (средства разработки собственно курсов), систему ученика (средства отображения на экран учебного материала) и средства для создания экспертной системы (ЭС) (оболочки ЭС). Был разработан демонстрационный курс «Итальянский язык для немцев-туристов» с простыми демонстрационными возможностями экспертной обучающей системы.

Курс и система «IDEA» были продемонстрированы на выставке CeBIT-93 (Ганновер, Германия) и получили хорошие отзывы специалистов.

По результатам маркетинговых исследований было решено в первую очередь разрабатывать инструментальные средства для расширения возможностей проектирования дизайна курсов, реализации дополнительных презентационных возможностей и т.д.

Часть, связанная с ЭС, оказалась на тот момент невостребованной рынком образовательных услуг, и тем самым финансирование этих разработок было фирмой Link&Link GmbH прекращено, однако в течении 1993–1995 гг. продолжались научные исследования в этой области, финансируемые из программы «INTAS» (грант INTAS 94–0135), которые продолжают и сейчас при поддержке РФФИ, федеральной целевой программы «Интеграция» и т.д. В то же время фирмой Link&Link GmbH с 1993 по 2001 г. было выпущено на рынок три различных версии «IDEA»; в настоящее время продается версия IDEA 4.0 Professional.

Ее отличительными особенностями являются:

- Открытая архитектура — расширение возможностей системы за счет подключаемых компонент;
- Возможность создавать Internet-версию учебного курса;
- Наличие интеллектуальных ассистентов, помогающих создавать упражнения и презентации без программирования;

- Поддержка всех наиболее распространенных мультимедиа-форматов;
- Возможность создавать платформно-независимые курсы;
- Импорт из баз данных;
- Возможность работы над курсом нескольких авторов одновременно;
- Поддержка стандартов AICC, XML.

Более подробную информацию можно получить на сайте фирмы Link&Link GmbH ([www.linkundlink.de](http://www.linkundlink.de)).

Следует также отметить, что научное сотрудничество, возникшее в результате работы над проектом «IDEA», привело также к новым организационно-научным и организационно-учебным формам российско-германского сотрудничества: в 1991 г. был создан российско-немецкий научный центр «Московский научный центр по культуре и информационным технологиям (МНЦ КИТ)», инициаторами учреждения которого выступили ученые из МГУ им. М.В. Ломоносова, Института мировой литературы АН СССР, Института русской и советской культуры Рурского университета г. Бохум (Германия), частные лица и предприниматели из Германии и России. Немецкой фирмой «Vo-Data» в 1991 г. была предоставлена в качестве безвозмездного дара МНЦ КИТ для научных исследований локальная компьютерная сеть из 21 компьютера с лицензионным программно-математическим обеспечением, а Институт мировой литературы АН СССР предоставил свои площади для размещения компьютерного оборудования и сотрудников МНЦ КИТ. Позднее, в течении 1993–1996 гг. для решения различных научных, учебных и организационных задач были созданы различные совместные российско-германские структуры: Российско-германский институт науки и культуры (на базе МГУ им. М.В. Ломоносова), Институт европейских культур (на базе Российского государственного гуманитарного университета) и др. С 1995 г. МНЦ КИТ работает в тесном контакте с Российским государственным гуманитарным университетом над проблемами компьютерных обучающих систем и сред. Кроме того, следовало бы отметить первый состав рабочей группы по

исследованию проблем создания компьютерных обучающих систем: д.ф.-м.н. профессор В.Б. Кудрявцев (Россия, руководитель проекта с российской стороны), д-р К. Вашик (Германия, руководитель работ с немецкой стороны, эксперт-филолог), доц. А.С. Строгалов (Россия, ответственный исполнитель), научные сотрудники П.А. Алисейчик (Россия), В.В. Перетрухин (ныне работает программистом в Канаде), Б. Линк (Германия), А. Линк (Германия).

На основе инструментальной среды «IDEA 2.0» и «IDEA 3.0 Professional» был создан ряд мультимедийных обучающих и тестирующих систем и электронных монографий по информатике, гуманитарным наукам, медицине и другим предметным областям. Отрабатывался опыт эффективного использования телекоммуникаций в обучении в режимах «off-line» и «on-line». Всего за 1995–2001 гг. было произведено порядка 15 курсов, часть из которых была тиражирована и выпущена на отечественный рынок образовательных услуг в рамках внутреннего заказа Российского государственного гуманитарного университета. Упомянем некоторые из этих образовательных продуктов.

- «Основы компьютерной грамотности» — курс предназначен для начинающих в области информатики. Содержит обучающую систему по основным понятиям информатики;
- «Русская разговорная речь для иностранцев» — продвинутый курс для иностранцев, изучающих русский язык. Содержит набор нескольких тем для общения с мультимедийными средствами обучения. Обучающая система имеет поддержку на английском, немецком и французском языках;
- «Проектирование информационных систем в Winword, Excel, Fox-Pro» (совместно с факультетом информатики РГГУ) — стандартный семестровый курс, ориентированный на студентов гуманитарных вузов. Содержит развитую систему обучения на основе тщательно разработанных тестов;
- «Русская культура на пороге Нового времени» — мультимедийный учебник по культурологии;

- «Знаете ли Вы А.С. Пушкина? Обучающая и тестирующая программа для учителей и учеников (К 200-летию со дня рождения А.С. Пушкина)»;
- «1917. Плакат в революции — революция в плакате» — обучающая система с развитыми навигационными возможностями движения по курсовому материалу, содержит оригинальный набор упражнений, построенный на основе визуального плакатного материала. Объем курса соответствует семестровому учебному материалу;
- «Аускультация легких» (совместно с институтом пульмонологии МЗ РФ) — курс содержит основы аускультации, теорию и практику применения отечественных препаратов при лечении астмы, а также набор тренировочных упражнений по распознаванию характерных звуков при аускультации легких в случае различных заболеваний;
- «Ультразвук и сосуды. Теория и практика» — электронная монография.

## 2. Особенности обучения

Были разработаны различные схемы организации дистанционного обучения, одна из которых была сделана специально для применения в ней технологии разработки обучающих курсов на основе инструментальной среды «IDEA», что снижало затраты на создание мультимедийных обучающих курсов. Общая схема организации такого типа обучения приведена на рисунке 1.

На основе этой схемы организации дистанционного обучения были экспериментально апробированы все ее компоненты с использованием e-mail, FTP-протокола и т.д., причем процесс взаимодействия позволял, работая с курсами, созданными при помощи «IDEA» (учебная среда), использовать указанные выше протоколы обмена информацией для взаимодействия с преподавателями и учениками без выхода из учебной среды. Кроме того были успешно проведены сеансы дистанционного обучения с университетом Огайо (США) в режиме on-line с

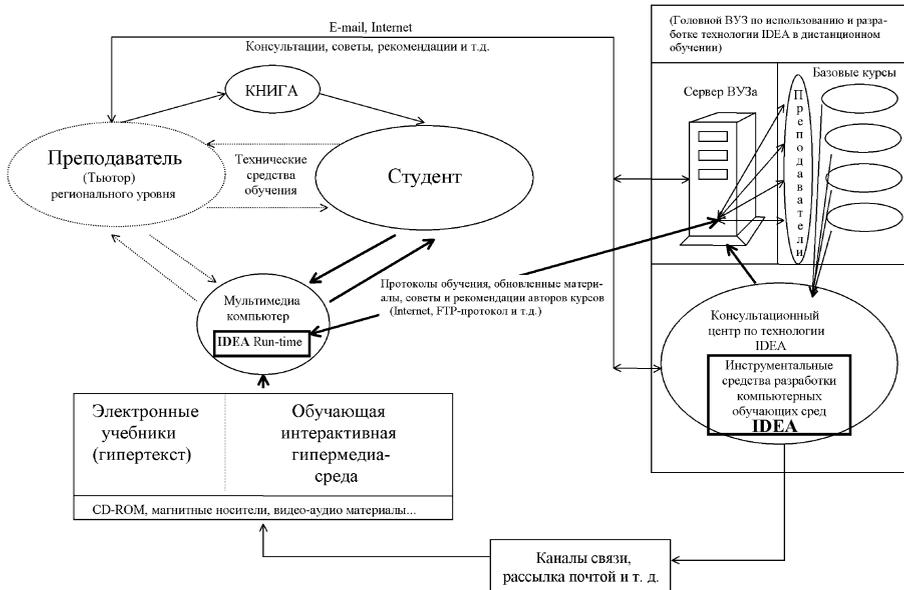


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема процесса дистанционного обучения.

использованием мультимедийного обучающего материала (звук, графика, видео).

При создании компьютерных обучающих систем такого рода и экспериментальной отработке использования сетевых технологий в обучении пришлось провести анализ организации реальных процессов обучения (школа–ВУЗ), и при этом была отмечена одна из причин возникновения определенного стресса у обучающегося при переходе от школы к ВУЗ'у, что надо учитывать при разработке компьютерных систем обучения. Главное в этом переходе связано с изменением способа организации учебного процесса и использованием и ориентацией учебных материалов.

Учебно-методический комплект для школы включает в себя учебник, книгу для чтения, сборник задач, **методические указания для учителя**, практикум, учебные планы, программы и другие материалы.

Учебно-методический комплект для ВУЗа включает в себя **курс лекций**, учебник, **методические материалы (для студента)**, сборник задач, практикум, учебные планы, программы и т.п.

Комплект для вуза отличается от школьного двумя компонентами выделенными выше полужирным шрифтом. Появляются лекции и методические материалы для студентов, которые определяют разные требования к процессу обучения в школе и ВУЗ'е, что следует учесть при создании компьютерных систем обучения. Обучение в школе характеризуется постоянным взаимодействием учителя и ученика. В ВУЗ'е взаимодействие лектора и преподавателя со студентом резко слабеет. Более того, возникает необходимость студенту уметь работать самостоятельно, в том числе ему необходимо предпринимать серьезные интеллектуальные усилия по превращению **информации**, полученной в процессе обучения, в **организованное знание**. Конечно, студент младших курсов к самостоятельной работе не готов. Следовательно, при создании компьютерных обучающих систем наряду с обучающим материалом в них надо закладывать функции обучающего преподавателя. Последнее предполагает наличие ряда функций у обучающей системы. К их числу относятся умение отвечать на различные вопросы, синтезировать последовательности вопросов и уметь анализировать ответы на них ученика. Пока это выражается лишь в разнообразии курсового содержания и вариативности множества возможных ответов, а также путем изменения мотивации к обучению, нежели при обучении без компьютера.

Отметим, что в любом учебном процессе можно выделить на наш взгляд три стандартные части: дидактическую, методическую и антропологическую (или, иначе говоря, человеческий фактор).

Дидактическая часть предполагает существование информационного наполнения и наличие структуры учебного предмета (например, ресурсы Internet, справочные системы и т.п.) — и, как отмечено выше, основной прогресс и пик развития компьютерных систем (в том числе и претендующих на звание обучающих) приходится сейчас на эту область. Методическая часть (если она присутствует) во всех компьютерных системах выступает сейчас в виде только одной («школьной») модели, основная схема действий в которой это «выучил — повторил — сдал». На самом деле есть, по крайней мере, три основных типа

методических систем организации учебного процесса.

**Первый тип — информационно-упражненческая форма** (обычная школьная форма);

**Второй тип — задачно-целевая форма;**

**Третий тип — ситуативно-проблемная форма.**

И во втором, и в третьем случаях необходим активный ученик, задающий вопросы. Третья форма отличается от второй осознанием способов собственной работы и учителем и учеником, а также наличием обширного дискуссионно-проблемного обучающего материала, по отношению к которому необходимо определение позиции ученика и учителя. Компьютерные обучающие системы позволяют разработать пособия, которые помогут организовать учебный процесс по второму и третьему типам за счет моделирования отдельных аспектов и фрагментов каждого субъекта учебного процесса (во взаимодействии учителя, ученика и обучающего материала) на основе моделей и методов нечеткой логики, параллельной обработки вариантов действий, использования эвристик и содержательных имитационных моделей. Кроме того весьма актуальна автоматизация задачи синтеза различных сценариев обучения, в частности, создание таких компьютерных средств, которые позволяли бы решать эту задачу педагогам, не являющимся профессионалами-программистами.

В использовании компьютерных обучающих систем важно осознавать побуждения человека пользоваться такими системами. Если система выглядит как традиционный учебник, то человек ею, скорее всего, пользоваться не будет, поскольку проще и удобнее читать учебник. Подвигнуть человека пользоваться компьютерной системой могут иные целевые установки, например, желание получить второе образование самостоятельно, интерес к конкретной проблеме, получение новейшей информации и т.д. Компьютерные системы позволяют легко обновлять содержание курсов учебных дисциплин, добавлять разнородные элементы, использовать не разнесенные по различным устройствам воспроизведения звук, видео, графику, что естественно повышает при соответствующей организации качество усвоения исходного материала.

В проекте «IDEA» [1, 2] частично реализованы эти принципы. Была использована концепция экрана как наименьшей дидактической

единицы, информация на котором — типа интерактивных кнопок, гиперссылок, активных зон и т.д. — позволяет ученику управлять движением и событиями курса, что упрощает систему навигации по нему.

Опишем некоторую формализацию процесса обучения, лежащую в основе проекта «IDEA», которая затем будет уточнена в виде автоматной схемы.

Первоначально общая структурная схема программы «IDEA» имела вид, показанный на рисунке 2.

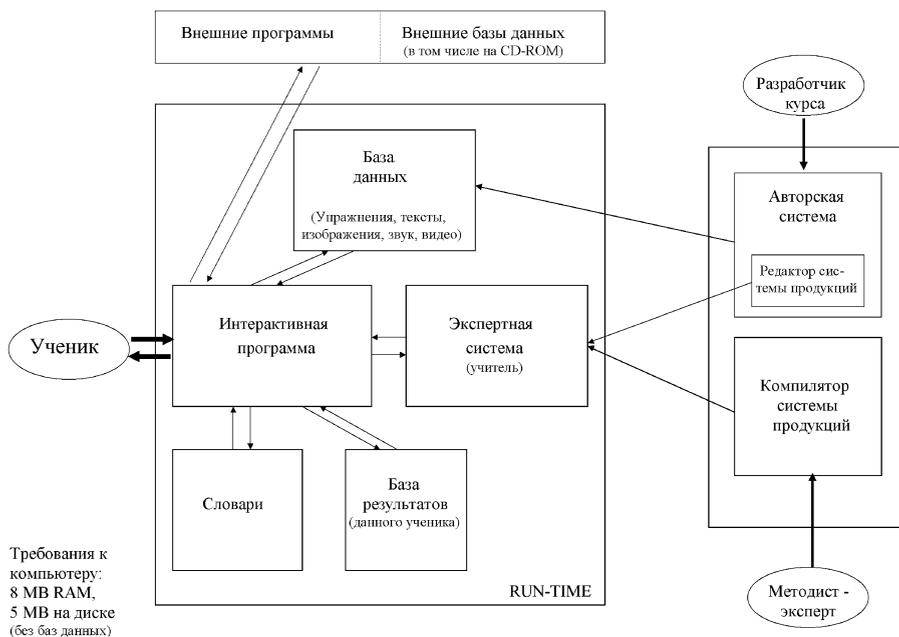
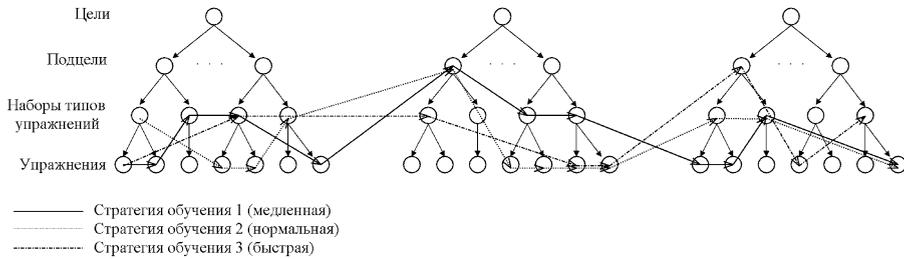


Рис. 2. Схема обучающей программы «IDEA».

Учебный материал представлялся в виде набора деревьев, имеющих перекрестные ссылки, что отражало не только иерархичность структуры обучающего материала, но и различного рода ссылки, создающие вторичные и пр. структуры учебного материала, отражающие взаимосвязи различных учебных целей, задач и т.д. В зависимости от типа ученика, его успехов или неудач предлагалось три стратегии обучения (быстрая, нормальная и медленная) (рисунок 3).



На рисунке изображены линейные стратегии обучения, соответствующие движению в одном направлении. Экспертная система в программе IDEA могла изменять ход процесса обучения: переход на другие стратегии обучения, повтор однотипных упражнений в случае ошибок локального характера, возвраты к ранее пройденному материалу в случае большого количества разнородных ошибок или изменения качества ошибок. В процессе обучения экспертная система сохраняла информацию о прохождении учеником данного курса. При возобновлении обучения процесс мог начинаться с момента его последнего останова.

Рис. 3. Обучающие стратегии в экспертной системе программы «IDEA».

Правила экспертной системы — это продукции вида «*Если* <условие> *то* <действие>».

Для экспертной системы был разработан специальный механизм оценки качества событий, происходящих с ее участием (например, локальная оценка качества учебного процесса на основе выбранной стратегии), в виде достаточно большого набора кривых, допускающих естественную интерпретацию типа «прогресс», «единичная ошибка», «нарастание усталости» и т.д.

На рисунке 4 приведен общий вид правил экспертной системы «IDEA» и некоторые типы кривых, возникающих в задачах обучения иностранному языку.

Главной целью проекта «IDEA» [1] была разработка и доведение до практического использования такой компьютерной системы обучения, которая моделировала бы **всех** участников образовательного процесса — учителя, ученика, учебный материал и организовывала оптимальное их взаимодействие. В проекте были заложены механизмы для формирования модели учителя и ученика, введен определенным образом организованный учебный материал с элементами мультимедиа и на этой основе имитировался процесс реального обучения с учетом таких характерных его особенностей, как взаимная настраиваемость учителя и ученика, способности ученика, оптимальность

Вид продукции (правила):

Если {(событие1, тип кривой 1, интервал 1) и  
(событие2, тип кривой 2, интервал 2) и ... }  
то {действие}

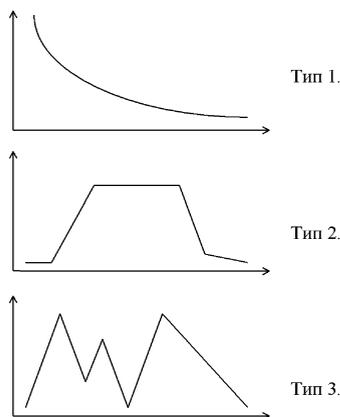
Тройка (событие, тип кривой, интервал) может быть от одной до десяти.

Каждому событию в процессе обучения сопоставляется кривая определенного типа, заданная на некотором временном интервале.

Примеры событий: частота пользования словарем, ошибки при выполнении упражнений, превышение временных рамок, отведенных на выполнение упражнений и т.д.

Примеры типов кривых:

Событие - пользование словарем



По вертикали отложена частота использования словаря, по горизонтали - время (время урока, время изучения темы и т.д.)

Рис. 4. Примеры события и вида продукции в экспертной системе программы «IDEA».

стратегии дозировки знаний и упражнений учителем, скорость запоминания и забывания знаний учеником, продолжительность и устойчивость его активного состояния и т.п.

В этом подходе учитель и ученик интерпретировались как адаптивные автоматы [3], а процесс обучения состоял в их итеративном взаимодействии. Со стороны автомата-«учителя» на каждом шаге выбирается оптимальная с его точки зрения подача автомату-«ученику» обучающей информации на основе того, как «усвоил» на предыдущих шагах обучения такую информацию автомат-«ученик».

Обучающая система является достаточно универсальной для заданного класса предметных областей, а также открытой, и легко пополняется информацией во всех своих основных частях. Модельным классом предметных областей выступали реальные языки. Таким образом, эти обучающие системы после наполнения их конкретным содержанием становились бы компьютерными обучающими системами по конкретным языкам.

В соответствии с изложенным, в проблеме синтеза адаптивного компьютерного «учителя» необходимо было решение следующих основных задач.

- 1) Синтез автомата-«учителя».
- 2) Синтез автомата-«ученика».
- 3) Разработка информационной системы, аналогичной учебнику с упражнениями.
- 4) Выработка оптимальной стратегии взаимодействия компонент 1–3.
- 5) Создание интерфейса с широкими сервисными услугами для пользователя.

Решение задач 1–4 сопряжено с рассмотрением целого ряда вопросов. К их числу относятся:

- а) Разработка динамических баз данных и знаний, состоящих из больших массивов синтаксической информации со сложной семантикой и нечеткими логическими связями. Эти базы должны быть компактными по объему занимаемой памяти, и в то же время позволять достаточно быстро получать необходимую информацию из них.
- б) Разработка признакового пространства описания состояний автоматов-«учителя» и «ученика» с указанием функционально-метрических зависимостей между ними, позволяющих задавать функционирование этих автоматов.
- в) Разработка оптимальных стратегий взаимодействия автомата-«учителя» с автоматом-«учеником» как средствами собственно теории автоматов и нечеткой логики, так и процедурами типа распознавания образов и пр.

Эти вопросы были исследованы авторами и изложены в [1, 2, 5]. Теоретическим фундаментом модели является автоматная модель гибридного вида и ее свойства [3], а также некоторые модели и методы, созданные авторами или привлеченные из теории интеллектуальных

систем. Ниже следует описание структуры и принципы функционирования основных блоков компьютерной обучающей системы «IDEA for Windows».

### 3. Общая структура системы «IDEA for Windows»

Система «IDEA for Windows», называемая далее просто «IDEA», состоит из следующих основных модулей:

#### Учебный курс

Учебный курс представляет собой набор данных, необходимых для обучения. В него входят:

- 1) Учебный материал — описание предметной области в форме текстов, изображений, графиков, схем, видеофильмов, звуковых записей и т.д.
- 2) Тренировочные упражнения, предназначенные для закрепления полученных знаний и навыков. Получение новой информации может быть организовано в виде упражнений. Четкое разделение между тренировочными и тестовыми упражнениями не проводится, поскольку система следит за всем процессом обучения, и, следовательно, может использовать для принятия решений сведения, полученные в ходе выполнения тренировочных упражнений. «IDEA» имеет постоянно пополняемый набор типов упражнений (в настоящее время 20), среди которых есть, например, тренировка произношения, позволяющих использовать ее при обучении иностранным языкам.
- 3) Описание структуры учебного курса в виде дерева (или нескольких деревьев) учебных целей. Это дерево содержит в качестве корневой вершины глобальную учебную цель — например, усвоение данного учебного курса. Вершины следующего яруса — подцели этой глобальной цели, и так далее вплоть до вершин нижнего яруса — атомарных учебных целей. Примером атомарной учебной цели может служить знание форм одного неправильного глагола. Как правило, существует несколько

глобальных учебных целей, и, соответственно, несколько соответствующих им деревьев. При обучении языкам это грамматика, коммуникативные навыки, лексика, знание стандартных языковых конструкций и т.д. Для каждой учебной цели в дереве может (а для целей нижнего яруса должен) быть указан набор тренировочных и тестовых упражнений, которые будут использованы системой для закрепления или проверки знаний, необходимых для достижения этой цели.

- 4) Справочная информация — таблицы, словари и т.п.
- 5) Набор учебных стратегий. Учебная стратегия — это планируемая последовательность упражнений либо учебных целей. В одном и том же курсе для ученика может быть выбрана та или иная учебная стратегия в зависимости от его задач (это может быть не обязательно овладение всем учебным материалом, а лишь некоторой его частью). На выбор стратегии также влияют режим обучения (частота и длительность занятий), начальные знания ученика, тип ученика, определенный на основании анализа процесса обучения, конкретные события в процессе обучения (например, неожиданные трудности при усвоении определенного материала), возможно, возраст ученика. Таким образом, учебный курс, содержащий достаточное количество стратегий, позволяет экспертной системе подойти к ученику индивидуально, что и составляет главное преимущество системы «IDEA» по сравнению с другими компьютерными обучающими системами. Разумеется, в процессе обучения могут возникнуть локальные отклонения от стратегии, связанные с решениями экспертной системы или самого ученика, но глобальная задача экспертной системы — это провести ученика по выбранной стратегии и, следовательно, решить соответствующую этой стратегии задачу обучения.

### Интерфейс ученика

Этот модуль решает следующие задачи:

- 1) Отображает на экране для ученика содержимое учебного курса — всех его компонент, перечисленных выше.

- 2) Позволяет выполнять упражнения, и во время их выполнения дает разрешенный автором курса доступ к справочной и иной информации. Для этого доступа интерфейс ученика использует свои навигационные средства или созданную автором систему гипертекстовых ссылок.
- 3) Отображает результаты упражнений и рекомендации экспертной системы.
- 4) Дает ученику (или следящему за обучением учителю) возможность вмешиваться в процесс обучения, локально отклоняясь от планируемой системой последовательности упражнений, необходимых для достижения этой цели. Такими отклонениями могут быть:
  - Временное изменение режима обучения. Возможны три режима в зависимости от того, как выбирается очередное упражнение: экспертной системой, самим учеником после просмотра содержимого курса или независимо от результатов предыдущего упражнения берется следующее упражнение в текущей стратегии.
  - Изменение текущей стратегии.
  - Пауза — как между упражнениями, так и во время выполнения упражнения.
- 5) Отображает статистику обучения — выполненные упражнения, их результаты, другие события, происходившие при их выполнении (превышение запланированного времени, пользование справочной информацией и т.п.), рекомендации экспертной системы, предпринятые по инициативе ученика отклонения от учебной стратегии (см. далее «База данных истории обучения»).
- 6) Дает ученику представление о текущем состоянии его знаний — уровень достижения всех учебных целей, описанных в дереве целей, а также целей, соответствующих учебным стратегиям.

### Авторская система

Авторская система представляет собой инструмент создания и редактирования всех компонент учебного курса.

### Модуль редактирования курса и доступа к нему в режиме ученика

Этот модуль обеспечивает модулю интерфейса ученика и авторской системе доступ к данным учебного курса. Уровень доступа — возможности просмотра и изменения данных — определяют интерфейсные модули. В частности, не только ученик, но и автор (в зависимости от своей квалификации) может не видеть или не иметь возможности редактировать некоторые части курса.

### База данных истории обучения

В этой базе данных хранится и постоянно обновляется информация обо всех событиях, произошедших в процессе обучения. Эта информация является основой для принятия решений экспертной системой, а также (частично) доступна ученику через интерфейс ученика. Фиксируются следующие события:

- 1) Все выполненные или начатые упражнения, при этом прерванные упражнения фиксируются отдельно.
- 2) Успешно выполненные упражнения и отдельные части упражнений.
- 3) Допущенные при выполнении упражнений ошибки с квалификацией класса ошибки.  
«IDEA» использует 4 класса ошибок:
  - случайные ошибки (опечатки, случайное нажатие кнопки «мышь» не в том месте и т.п.);
  - ошибки, связанные с недостаточными знаниями (навыками) по изучаемой в данный момент теме;
  - ошибки, связанные с недостаточными знаниями (навыками) по другим темам;
  - нераспознанные ошибки (например, бессмысленная последовательность букв там, где надо было написать слово).
- 4) Обращения к справочной или иной дополнительной информации.
- 5) Существенные превышения запланированного автором упражнения времени или, наоборот, выполнение упражнения значительно ранее запланированного времени.

- 6) Предпринятые по инициативе ученика отклонения от учебной стратегии и другие вмешательства в ход обучения.

Вся перечисленная информация доступна как для отдельных упражнений и атомарных учебных целей, так и на верхних ярусах дерева учебных целей - как аккумулированная информация о подцелях.

### **Учитель**

Этот модуль в общепринятой терминологии представляет собой экспертную систему. Она состоит из ядра и базы знаний продукционного типа. Задача экспертной системы — определять тактику прохождения по учебной стратегии для решения соответствующей этой стратегии учебной задачи. Кроме того, экспертная система корректирует поведение ученика в процессе обучения, давая ему советы. Основой для принятия решения служит следующая информация:

- 1) Текущая стратегия (задача обучения).
- 2) База данных истории обучения.
- 3) Гипотеза о типе ученика, постоянно корректируемая в ходе обучения.
- 4) Локальные события, произошедшие в последнем упражнении, текущей учебной цели, в течение сегодняшнего урока или за последний час и т.д.
- 5) Дерево учебных целей — используется при необходимости дополнительной тренировки, возврата к недостаточно усвоенной теме и тестирования знаний после ее повторения.

## **4. Обучение с помощью экспертной системы «IDEA»**

Впервые начиная работу с системой «IDEA», ученик должен ответить на ряд вопросов, запланированных автором учебного курса. Как правило, это вопросы об имени, возрасте, начальном уровне знаний по предмету обучения, о наличии знаний в смежных областях (например, при обучении иностранному языку это знание другого языка). Возможны также вопросы о целях, которые ставит себе ученик

при изучении данного курса, о предполагаемой частоте и длительности занятий. На основании результатов этого начального опроса экспертная система рекомендует ученику одну из учебных стратегий. Каждая стратегия содержит краткое описание, позволяющее ученику самому решить, следовать ли рекомендации экспертной системы или попробовать начать обучение по другой стратегии. Вторая задача начального опроса — дать экспертной системе информацию для выработки начальной гипотезы о типе ученика. В процессе обучения эта гипотеза будет корректироваться. В зависимости от текущей гипотезы экспертная система будет применять ту или иную тактику обучения. Есть и еще одна немаловажная деталь, позволяющая внести один из элементов индивидуализации процесса обучения — «IDEA» обращается к ученику по имени, называя его «ты» или «Вы» в зависимости от возраста и используя правильный род в зависимости от пола. Автор курса также имеет возможность использовать значения этих переменных в текстах упражнений.

Затем экспертная система выбирает первое упражнение. Все события, происходящие во время его выполнения, фиксируются в базе данных результатов ученика. После того, как упражнение выполнено, экспертная система дает ученику советы, объясняет текущую учебную ситуацию и предлагает следующее упражнение. В любой момент ученик имеет возможность отклониться от предлагаемой ему последовательности упражнений, но этот факт, а также все, что происходит во время таких отклонений, фиксируется в базе данных результатов ученика и будет использовано в дальнейшем экспертной системой при принятии решений.

Ввиду существенного объема баз знаний и данных и необходимости очень часто обращаться к экспертной системе и практически мгновенно реагировать на происходящие события, задача оптимизации принятия решений в обучающих экспертных системах приобретает особенную актуальность. При решении этой проблемы в экспертной системе «IDEA» была использована следующая особенность. База знаний в левой части продукции использует практически всю информацию, содержащуюся в базе данных истории обучения, и следовательно, при вычислении истинности условий приходится всякий раз обращаться к базе данных. Однако содержимое этой базы дан-

ных меняется весьма медленно, так как основную ее часть составляет аккумулированная информация об учебных целях. Поэтому компилятор базы знаний создает специальную индексную структуру, устанавливающую связь между записями базы данных и продуктами базы знаний. При обновлении информации в базе данных истории обучения сразу выделяется список продуктов базы знаний, условия которых необходимо пересчитать, и этот список решающим образом сокращает время принятия решения.

Для экспертной системы был разработан специальный язык, позволяющий использовать в продукциях базы знаний аккумулированную информацию о событиях, содержащуюся в базе данных истории обучения.

Основой этого языка служат следующие понятия:

- 1) Тип ученика. «IDEA» не имеет предопределенных типов ученика, давая автору базы знаний (методисту) свободу в определении собственных типов в соответствии со своей методикой.
- 2) Событие. Примеры событий перечислены выше. Автор базы знаний может определять новые события, вычисляемые на основании уже определенных ранее.
- 3) Интервал. Это либо учебная цель, либо учебная стратегия, либо упражнение, либо один из временных интервалов — сегодняшнее занятие, последний час и т.п.
- 4) Тип кривой. Это описание динамики частоты события на интервале одним—двумя словами: часто; редко; сначала редко, потом чаще и т.д. — «IDEA» использует конечное множество определяемых автором типов кривых (в работающей сейчас базе знаний их имеется порядка 20).
- 5) Вес кривой на интервале. Это отношение числа произошедших событий к числу возможных, либо, как в случае пользования справочной информацией, к числу ожидаемых (в этом случае оно может быть больше 1).

Опыт создания базы знаний для системы «IDEA» показал, что этот язык хорошо отражает структуру знаний специалистов по методике обучения, и они, не будучи знакомы ни с теорией экспертных

систем, ни с языками программирования, способны создавать работающую базу знаний.

Изложенное выше допускает формальное описание в виде систем взаимодействующих автоматов, фрагмент соответствующей модели приводится далее.

Как уже отмечалось, сам процесс обучения представляется в виде взаимодействия двух автоматных моделей — управляемого  $\mathbf{A}_0$  (ученик) и управляющего  $\mathbf{A}$  (обучающая программа — учитель). Выходом  $\mathbf{D}$  автомата  $\mathbf{A}$ , и соответственно, входом  $\mathbf{A}_0$  является учебный материал — упражнения, пояснения, справочные материалы и т.п. Выходом  $\mathbf{B}$  автомата  $\mathbf{A}_0$ , и соответственно, входом  $\mathbf{A}$  являются события, произошедшие в процессе обучения (см. выше — база данных истории обучения).

Задача обучающей программы (управляющего автомата  $\mathbf{A}$ ) — управлять с помощью выхода  $\mathbf{D}$  автоматом  $\mathbf{A}_0$  таким образом, чтобы за минимальное время привести его в заданное состояние (достичь заданного учебного результата). Другим вариантом постановки задачи может быть достижение максимального результата за заданное время. Формально это может быть описано как минимизация числа ошибок в выходе  $\mathbf{B}$  автомата  $\mathbf{A}_0$  на некотором отрезке времени  $\mathbf{T}_{fin}$ , завершающем процесс обучения.

Эта задача управления может быть разбита на следующие подзадачи:

- 1) Предъявление ученику учебного материала, накопление результатов урока.
- 2) Составление протокола обучения, хранящего в сжатой форме историю всех событий, составляющих выход  $\mathbf{B}$  автомата  $\mathbf{A}_0$ . Составление на основании протокола обучения моделей ученика (тип ученика) и учебной ситуации.
- 3) Анализ ситуации — определение действий, которые целесообразно предпринять в данной учебной ситуации для данного типа ученика.
- 4) Подбор подходящей учебной стратегии.
- 5) Составление плана следующего урока — наполнение выбранной стратегии учебным материалом.

В соответствии с этим автомат **A** может быть представлен в виде суперпозиции автоматов **A**<sub>1</sub>–**A**<sub>5</sub>, как это показано на рисунке 5.

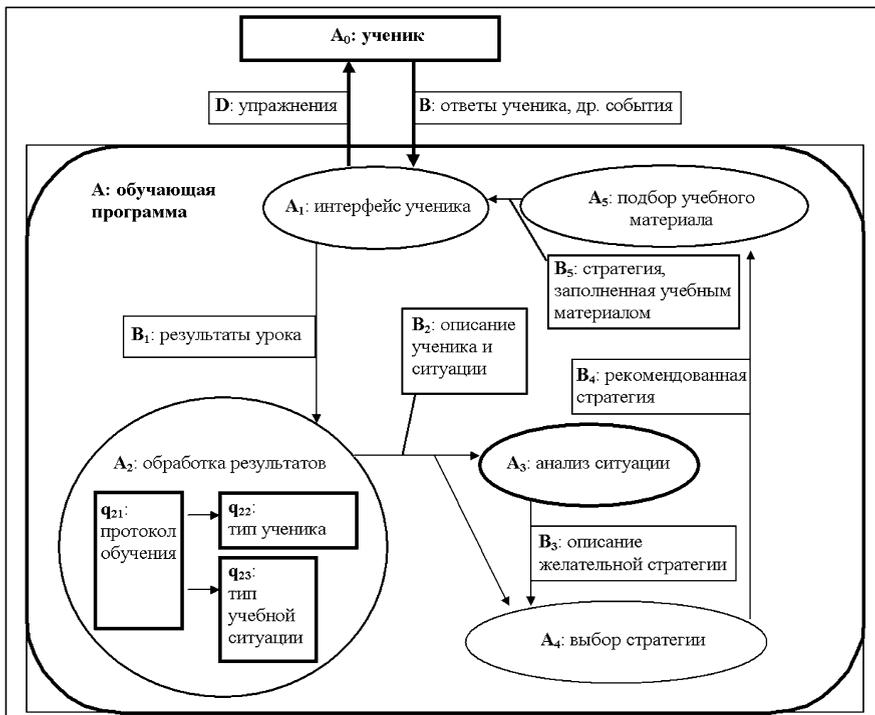


Рис. 5.

Автомат **A**<sub>1</sub> представляет собой преобразователь входов **B**<sub>5</sub> и **B** в выходы **D** и **B**<sub>1</sub> соответственно. В простейшем случае это может быть автомат с одним состоянием.

Множество состояний автомата **A**<sub>2</sub> есть декартово произведение множеств **Q**<sub>21</sub>, **Q**<sub>22</sub> и **Q**<sub>23</sub>, описывающих соответственно протокол обучения, модель ученика и модель учебной ситуации. Для описания (потенциально неограниченной) истории событий элементами конечного множества **Q**<sub>21</sub> целесообразно кодирование динамики события **E** на протяжении всего обучения тройкой **C**<sub>**E**</sub> = (**F**<sub>**E**</sub>, **N**<sub>**E**</sub>, **R**<sub>**E**</sub>), где: **F**<sub>**E**</sub> — тип кривой — описание динамики частоты события на интервале элементами конечного алфавита (см. выше)

$\mathbf{N}_E$  — длина кривой — отношение длины протокола к запланированному времени обучения  $\mathbf{T}_0$ . Очевидно, что длина кривой, представляющая собой вещественное число из интервала  $[0, \mathbf{T}_{\max}/\mathbf{T}_0]$ , может быть с некоторой точностью описана элементом конечного множества.

$\mathbf{R}_E$  — вес кривой (см. выше). Как и длина кривой, вес может кодироваться элементами конечного множества.

Таким образом, компонента  $\mathbf{q}_{21}$  состояния автомата  $\mathbf{A}_2$  есть набор  $(\mathbf{C}_{E_1}, \dots, \mathbf{C}_{E_k})$  для всех протоколируемых событий  $E_i$ . Более подробный протокол обучения может быть получен, если хранить тройки  $\mathbf{C}_{E_i}(\mathbf{I}_j)$  для нескольких наиболее важных интервалов  $\mathbf{I}_j$ : учебная цель, урок, а также временных интервалов — сегодняшнее занятие, последний час и т.п.

На основании входа  $\mathbf{V}_1(t)$  и текущего состояния  $\mathbf{q}_{21}(t)$  автомат  $\mathbf{A}_2$  вычисляет свое новое состояние  $\mathbf{q}_{21}(t+1)$ , если необходимо, уточняет тип ученика  $\mathbf{q}_{22}$  и учебной ситуации  $\mathbf{q}_{23}$ .

Автомат  $\mathbf{A}_3$  занимает центральное место в схеме автомата  $\mathbf{A}$ . Его задача — принятие решения о действиях, которые целесообразно предпринять в данной учебной ситуации — дополнительные упражнения, повторение, возврат к началу темы и т.п. Для решения этой задачи возможно применение системы продукций, в левой части которых находятся условия на значения входа  $\mathbf{V}_2$ , а в правой — значения выхода  $\mathbf{V}_3$ . Однако на практике построение такой системы продукций представляет собой существенную трудность для автора учебного курса, не обладающего, как правило, навыками такого рода. Поэтому более предпочтительным оказывается другое, менее трудоемкое для автора курса решение. Для этого принимается гипотеза о том, что автомат  $\mathbf{A}_0$  представляет собой вероятностный автомат из определенного класса  $\mathbf{M}$ . Диаграмма Мура автомата  $\mathbf{A}_0$  приведена на рисунке 6.

В зависимости от своего состояния  $\mathbf{q}_{21}$  автомат  $\mathbf{A}_2$  относит  $\mathbf{A}_0$  к некоторому подклассу  $\mathbf{M}_i$  класса  $\mathbf{M}$  — этот подкласс  $\mathbf{M}_i$  и представляет собой тип ученика. Характеристиками подкласса  $\mathbf{M}_i$  являются длина цепочки состояний, функция перехода  $\varphi(\mathbf{q}, \mathbf{D})$ , определяющая вероятность перехода в следующее состояние при значении  $\mathbf{D}$  входа автомата  $\mathbf{A}_0$ , и функция выхода  $\psi(\mathbf{q}, \mathbf{D}, \mathbf{E})$ , определяющая

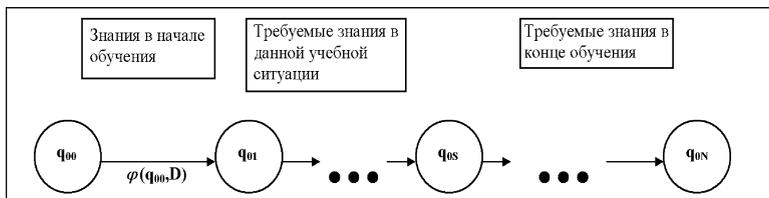


Рис. 6.

вероятность события  $\mathbf{E}$  в состоянии  $\mathbf{q}$  при значении входа  $\mathbf{D}$ . Зная значение  $\mathbf{M}_i$ , автомат  $\mathbf{A}_3$  может спланировать последовательность действий, переводящих  $\mathbf{A}_0$  в состояние  $\mathbf{q}_{0S}$ , желательное для данной учебной ситуации. Если предположить, что функция  $\psi$  линейно зависит от сложности  $\mathbf{L}(\mathbf{D})$  упражнения  $\mathbf{D}$ , а  $\varphi(\mathbf{q}, \mathbf{D}) = \sum \mathbf{a}_i \psi(\mathbf{q}, \mathbf{D}, \mathbf{E}_i)$ , то подкласс  $\mathbf{M}_i$  будет задаваться несколькими параметрами — длиной  $\mathbf{N}$  цепочки состояний и коэффициентами линейных функций  $\varphi$  и  $\psi$ . Таким образом, автору курса достаточно определить набор типов учеников и описать, какое состояние  $\mathbf{q}_{0S}$  является желательным на каждом этапе обучения. После этого автомат  $\mathbf{A}_2$  может решать задачу отнесения  $\mathbf{A}_0$  к определенному подклассу  $\mathbf{M}_i$ , и определения его текущего состояния  $\mathbf{q}_{0i}$ , а автомат  $\mathbf{A}_3$  — спланировать последовательность действий, переводящих  $\mathbf{A}_0$  в требуемое состояние  $\mathbf{q}_{0S}$ .

Автомат  $\mathbf{A}_4$  представляет собой базу данных учебных стратегий, для которой вход  $(\mathbf{V}_2, \mathbf{V}_3)$  является запросом, а выход  $\mathbf{V}_4$  — результатом обработки этого запроса. Аналогично автомат  $\mathbf{A}_5$  может быть описан как база данных учебного материала, задача которой — подобрать материал, отвечающий запросу  $\mathbf{V}_4$ . Чтобы избежать ситуации, когда  $\mathbf{A}_4$  и  $\mathbf{A}_5$  не могут найти данных, удовлетворяющих запросам, следует представлять  $\mathbf{V}_3$  и  $\mathbf{V}_4$  как упорядоченные наборы запросов  $(\mathbf{V}_{30}, \dots, \mathbf{V}_{3S})$  и  $(\mathbf{V}_{40}, \dots, \mathbf{V}_{4L})$  — если запрос  $\mathbf{V}_{30}$  не может быть удовлетворен, удовлетворяется запрос  $\mathbf{V}_{31}$ , и т.д. Более сложная модель может включать в себя обратную связь между автоматами  $\mathbf{A}_4$  и  $\mathbf{A}_3$ , а также  $\mathbf{A}_5$  и  $\mathbf{A}_3$ . Тогда, если запрос  $(\mathbf{V}_2, \mathbf{V}_3)$  или  $\mathbf{V}_4$  не может быть удовлетворен, автомат  $\mathbf{A}_3$  предлагает другой вариант действий  $\mathbf{V}'_3$ .

Приведенный выше формальный фрагмент модели позволяет описывать и строить компьютерные обучающие системы общего вида

на основе автоматных моделей. В некоторых случаях бывает удобно разработать свою модель для отдельных компонент учебного процесса, а затем встроить ее в уже функционирующую систему. Мы приведем некоторое описание рекомендаций для выработки стратегий управляющим автоматом (экспертной системой) для тестовой компоненты обучения. Итак, имеется тестовый набор вопросов, (понимаемых достаточно широко — это могут быть тексты, картинки и т.д. допускающие в конечном итоге ответы типа «да-нет»), необходимо описать возможные стратегии обучения ученика в зависимости от качества его ответов, времени реакции на ответ и т.д. Будем исходить из того, что количество вопросов «достаточно большое» и число вопросов  $N$  кратно трем. Объяснение такому выбору будет дано ниже, но вообще следует заметить, что тест не должен быть очень длинным, а наличие большого числа делителей  $N$  позволяет разбивать тест на кратные целому куски, которые можно анализировать и сравнивать для выработки следующего шага стратегии обучения. В нашем случае исходим из того, что число  $N$  может принимать значения из множества  $\{9, 18, 27\}$ . Далее используем словосочетание «текст на экране монитора», понимая под этим любую символьную информацию на нем, а чтение такого текста означает ознакомление с ним и общее понимание задания. Это необходимо для учета фактора времени при прохождении тестового занятия. Для разработки соответствующей шкалы потребуется величина  $T_{\text{экс}}$  — экспертное время — это время необходимое ученику данного типа для ознакомления с экраном и понимания общего смысла задания. Эта величина либо задается экспертом, либо вычисляется перед началом работы с учеником путем предъявления ему нескольких экранов и вычисления средней взвешенной суммы временных интервалов, соответствующих разности моментов времени между предъявлением текста на экране и нажатием кнопки клавиатуры, подтверждающей завершение процесса чтения. Эта величина может быть увеличена на среднее время выполнения задания (зависит от типа упражнений и задается экспертом). Оценка времени работы ученика с материалом на экране компьютера рассчитывается по следующей лингвистической шкале: где  $\Delta$  — число, задаваемое также экспертом, которое позволяет ученику «слегка» отклоняться от точных числовых значений этой шка-

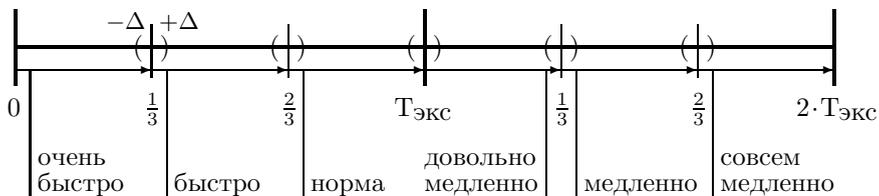


Рис. 7.

лы при прохождении курса. Далее мы исходим из того, что количество тестов  $N$  в задании кратно трем (см. выше). В простейшем случае тест понимается как набор вопросов, оцениваемых по шкале «да–нет» (то есть справился с упражнением или нет). В зависимости от количества ошибок ученика предлагается следующий набор реакций обучающей системы:

- 1) Ошибок меньше  $\frac{1}{3}N \pm \Delta$  — успешное прохождение теста, ученику предоставляется возможность быстрого просмотра ошибочных ответов, возврат в контрольную точку теста (один возврат), разрешается движение дальше по обучающему материалу.
- 2) Ошибок больше  $\frac{1}{3}N \pm \Delta$ , но меньше  $\frac{5}{12}N \pm \Delta$  — среднее качество прохождения теста, обязательный возврат на неправильные оценки (возможно с фиксированной скоростью просмотра), числом возвратов в контрольную точку не более двух. При третьем возврате в контрольную точку ученик отсылается на учебный материал, и только после его изучения повторяется тест.
- 3) Ошибок больше  $\frac{5}{12}N \pm \Delta$  — неудачное прохождение теста, обязательный возврат на неправильные ответы с экспертным временем на просмотр и числом возвратов в контрольную точку не более одного раза. При повторном возврате в контрольную точку происходит возврат на учебный материал и только после его изучения происходит повторное выполнение теста.

Контрольные точки теста (одна или несколько) — это набор вопросов, дублирующих предыдущие вопросы, на которые был дан неправильный ответ, в измененной форме. Эти точки как бы дают

ученику возможность исправить ошибки, допущенные по невнимательности, из-за мелких упущений и т.д., кроме того, они дают возможность ученику улучшить общий суммарный балл при прохожде-

интервал количество ошибок $M$	очень быстро– быстро	норма–довольно медленно	медленно–совсем медленно
$M \leq \frac{1}{3}N \pm \Delta$	Дальнейшее продвижение по курсу. Число возвратов в контрольные точки не более одного. При возврате в контрольные точки дается выбор быстрого или экспертного времени на просмотр. Предложить поменять экспертное время на реально затраченное время	Дальнейшее движение по курсу с экспертным временем. Число возвратов в контрольные точки не более одного. При возврате в них дается экспертное время	Дальнейшее продвижение по курсу. Число возвратов в контрольные точки не более двух. При возврате в контрольные точки дается возможность медленного просмотра. Предложить поменять экспертное время на реально затраченное
$\frac{1}{3}N \pm \Delta \leq M \leq \frac{5}{12}N \pm \Delta$	Число возвратов в контрольные точки не более двух. При возврате на контрольные точки дается возможность выбора быстрого прохождения или прохождения с экспертным временем	Число возвратов в контрольные точки не более двух. При возврате в них дается экспертное время. При возврате на материал дается также экспертное время	Число возвратов в контрольные точки не более трех. При возврате в них дается возможность выбора медленного или экспертного времени. При возврате на материал дается также выбор из медленного или экспертного времени

$M \geq \frac{5}{12}N \pm \Delta$	Число возвратов в контрольные точки не более одного. При возврате в них дается экспертное время. При возвращении на учебный материал дается время, заведомо большее, чем экспертное	Число возвратов в контрольные точки не более одного. При возврате на них дается экспертное время. При возврате на учебный материал дается также экспертное время	Число возвратов в контрольные точки не более трех, либо возможность окончания занятия без учета результатов последнего теста. Предложить поменять экспертное время на реально затраченное время. При возвратах в контрольные точки дается экспертное время. При возврате на учебный материал дается возможность выбора из медленного или экспертного времени
-----------------------------------	---	--	--

нии всего теста. Величина  $\frac{5}{12}$  есть среднее арифметическое между  $\frac{1}{3}$  и  $\frac{1}{2}$  — ее введение позволяет несколько отделить поведение ученика, который слабо знает учебный материал, но ведет себя осмысленно, от «случайного» поведения, когда, например, ответы выбираются произвольно. Заметим, что значение величины  $\Delta$ , вообще говоря, зависит от длины теста ( $N$ ); определяем область ее значений как множество  $\{0, 1, 2\}$ , интерпретируя это как возможность «простить» одну или две ошибки при прохождении теста. Естественно, что если тест короткий, то  $\Delta$  может быть равно 0 или 1, а если тест более длинный, то иногда  $\Delta$  может принимать значение 2. Этот прием позволяет также разнообразить поведение обучающей системы. Сочетание двух факторов (скорости прохождения материала и количества ошибок) позволяет дать простейшие рекомендации для учета их в событиях экспертной системы, вырабатывающих стратегии обучения (см. табл. 1). В этой таблице экспертное время соответствует той временной шкале, о которой мы говорили выше, а термины «реально затраченное

время» и «медленное время» означают, что ученику дается возможность изменить время работы с экраном (в сторону уменьшения или увеличения), либо не учитывать фактор времени («медленное время»).

Возникает вопрос: почему берется количество экранов (упражнений) в тесте кратным трем? Здесь полагается, что разбиение учебного материала на фрагменты из трех задач и качество их решения дает возможность локальной оценки для изменения дальнейшей стратегии обучения и позволяет достичь этого без трудного перебора возможных реакций на последующие действия ученика. Кроме этого, предполагаем, что каждая задача имеет по три или более вариантов, которые более или менее равнозначны. Ниже (см. рис. 8) приведен один из возможных фрагментов дерева решений, служащего основой для синтеза управляющего обучением автомата («учителя»). В нем в кружочке стоит номер задачи и один из ее вариантов (в данном примере взяты три задачи, каждая из которых имеет два варианта «а» и «б»), каждый квадратик означает пошаговый разбор задачи, листья дерева с номерами означают соответствующие комментарии для ученика с оценкой качества пройденного пути (решенных задач). Кроме того, знак «+» или «-» на соответствующих ветвях означает решение или не решение соответствующей задачи.

Насколько же могут быть эффективны компьютерные средства обучения в данной задаче? Ответ на этот вопрос пока в целом открыт (несмотря на ряд обнадеживающих исследований в области теории интеллектуальных систем в этой области [1, 5, 8–9]) и необходимы серьезные (междисциплинарные по своей сути) исследования по теории компьютерных обучающих систем и обучения в целом. Пока же такие системы и среды решают скорее другую задачу — задачу удовлетворения информационного голода, информационного любопытства. Они лишь помогают преподавателю переосмыслить содержание того, что он преподает, и могут существенно расширить информационный кругозор участников процесса обучения.

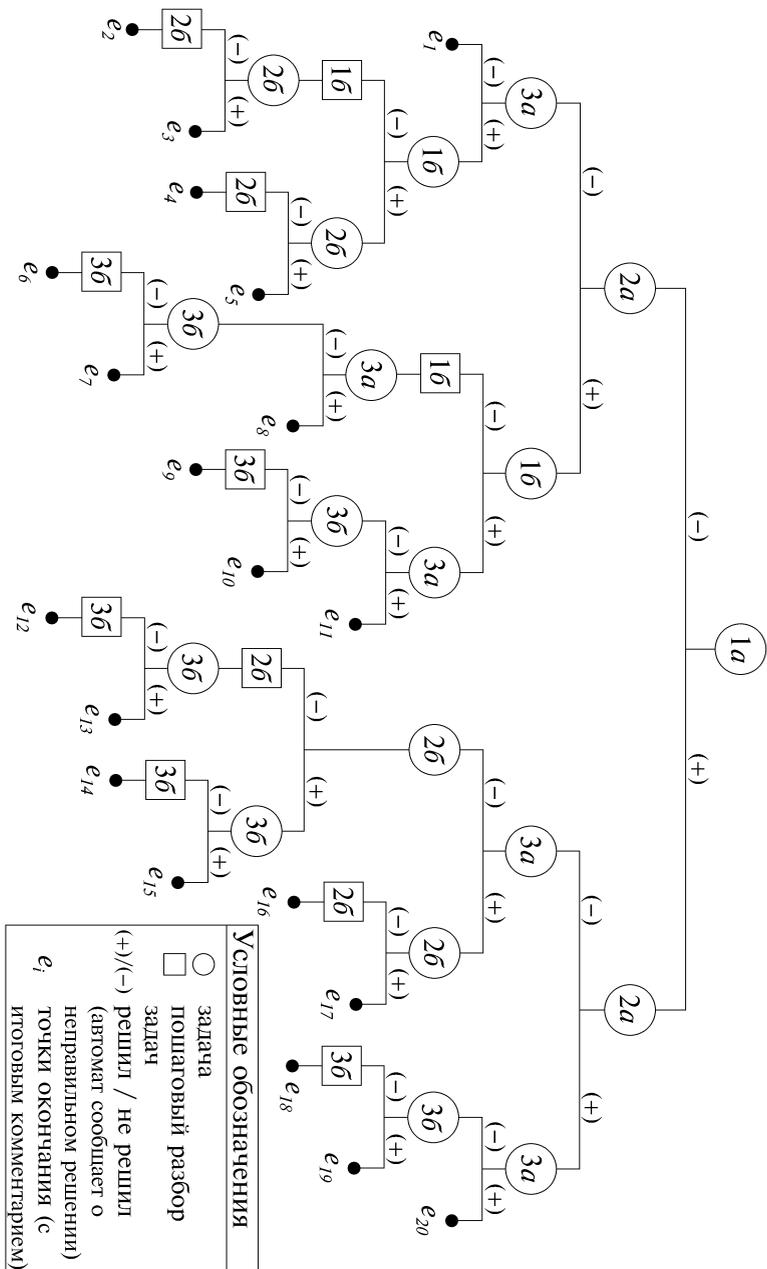


Рис. 8. Автомат для трех задач (используется не более двух вариантов задачи).

## Список литературы

- [1] Вашик К., Кудрявцев В.Б., Строгалов А.С. Проект «IDEA». Введение в новое поколение программного обеспечения типа ICBI для передачи знаний и навыков с помощью экспертной системы. Dortmund: Link&Link Software GmbH, 1995.
- [2] Кудрявцев В.Б., Вашик К., Строгалов А.С., Алисейчик П.А., Перетрухин В.В. Компьютерная система обучения автоматного типа // Проблемы теоретической кибернетики. М.: РГГУ, 1996. С. 111.
- [3] Кудрявцев В.Б., Алешин С.В., Подколзин А.С. Введение в теорию автоматов. М.: Наука, 1985.
- [4] Афанасьев Ю.Н., Шеховцов С.Г. Путь университета: опыт рефлексии // Вузовская педагогика в информационном обществе. М.: РГГУ, 1998. С. 9–36.
- [5] Кудрявцев В.Б., Вашик К., Строгалов А.С., Алисейчик П.А., Перетрухин В.В. Об автоматном моделировании процесса обучения // Дискретная математика. Т. 8. № 4. М., 1996. С. 3–10.
- [6] Подколзин А.С. О формализации приемов решения математических задач // Интеллектуальные системы. Т. 3. Вып. 3–4. М., 1998. С. 51–74.
- [7] Строгалов А.С. Компьютерные обучающие системы: некоторые проблемы их разработок // Вузовская педагогика в информационном обществе. М.: РГГУ, 1998. С. 68–72.
- [8] Строгалов А.С., Шеховцов С.Г. Мышление, язык и интеллектуальное образование // Интеллектуальные системы. Т. 3. Вып. 3–4. М., 1998. С. 5–50.
- [9] Тиффин Д., Раджасингам Л. Что такое виртуальное обучение. М.: Информатика и образование, 1999.
- [10] Яковлев Н.Н. Преступившие грань. М.: Международные отношения, 1975.
- [11] Афанасьев Ю.Н., Строгалов А.С., Шеховцов С.Г. Об универсальном знании и новой образовательной среде (к концепции универсальной компоненты образования). М.: РГГУ, 1999.

- [12] Строгалов А.С. Существует ли гуманитарный аспект математики? // Математика и общество. Математическое образование на рубеже веков. М.: МНЦМО, 2000.
- [13] Бычков С.Н., Строгалов А.С., Шеховцов С.Г., Шикин Е.В. О тождестве фундаментального и гуманитарного // Материалы II-го Всероссийского геометрического семинара. Псков: Псковский Государственный педагогический университет, 18–19 мая 2001.