**Разработка виртуальной химической лаборатории для школьного образования**

М.Н. Морозов, А.И. Танаков, А.В. Герасимов, Д.А. Быстров, В.Э. Цвирко, Марийский государственный технический университет, Йошкар-Ола, Россия

М.В. Дорофеев, Московский институт открытого образования, Москва, Россия

**1. Введение**

Современный рынок электронных образовательных ресурсов развивается очень быстро. Учителю предлагается большой выбор педагогических программных средств (ППС). С каждым днем возможности таких ресурсов, нацеленных на существенное повышение эффективности образовательного процесса в целом и обучения химии в частности, многократно возрастают. В связи с этим возникают принципиальные вопросы: применение каких ППС отвечает задачам современной школы, где и как их надо использовать, какие возможности они должны предоставлять школьникам для того, чтобы стать помощниками на пути познания, саморазвития личности, не ограничивать возможности ребенка (Дорофеев М.В., 2002). По какому пути следует идти создателям и разработчикам ППС нового поколения для того, чтобы успешно решить эти вопросы.

В настоящее время существует несоответствие способов представления учебного материала в электронных изданиях и современных теорий обучения. Большинство электронных учебных материалов до сих пор создаются в виде статических гипертекстовых документов, в которые иногда включаются Flash-анимации. В то же время, современными исследованиями (Anderson T. et al., 2004) установлено, что образовательный процесс становится более эффективным при использовании интерактивных, мультимедиа насыщенных образовательных ресурсов, обеспечивающих активные методы обучения.

Отчасти сущность этого несоответствия заключается в том, что процесс создания образовательного гипертекста достаточно дешев и прост. Напротив, проектирование и реализация информационной образовательной среды для активного обучения является сложной задачей, требующей больших временных и финансовых затрат.

Однако, взаимодействие ребенка с ЭВМ в учебном процессе эффективно лишь в том случае, если ППС соответствует критериям высокого уровня интерактивности, предполагающего полноценный, интеллектуальный диалог машины и пользователя. Для того, чтобы у ребенка возник непроизвольный интерес к сотрудничеству с компьютером и в процессе этого совместного творчества устойчивая познавательная мотивация к решению образовательных, исследовательских задач, необходимо создание таких условий, при которых ребенок становится непосредственным участником событий, развивающихся на экране монитора, то есть условий для полноценного деятельностного подхода к изучаемому явлению.

Залог успешного применения ППС в образовательном процессе современной школы заложен в хорошо известных принципах педагогики сотрудничества, которые можно перефразировать следующим образом: «не к компьютеру за готовыми знаниями, а вместе с компьютером за новыми знаниями».

Результаты исследований свидетельствуют, что простые электронные формы представления учебного материала при обучении не эффективны (Anderson T. et al., 2004). Кроме того, в (Prensky M., 2000) указывается, что учащиеся «поколения видеоигр» ориентированы на восприятие высоко-интерактивной, мультимедиа насыщенной обучающей среды. Упомянутым выше требованиям наилучшим образом соответствуют образовательные программы, моделирующие объекты и процессы реального мира и системы виртуальной реальности. Соответственно, подобные мультимедиа системы, которые могут быть использованы для поддержки процесса активного обучения, привлекают в последнее время повышенное внимание. Примером таких обучающих систем являются виртуальные лаборатории, которые могут моделировать поведение объектов реального мира в компьютерной образовательной среде и помогают учащимся овладевать новыми знаниями и умениями в научно-естественных дисциплинах, таких как химия, физика и биология.

Оппоненты такого подхода высказывают вполне обоснованные опасения, что школьник, в силу своей неопытности, не сможет отличить виртуальный мир от реального, то есть модельные объекты, созданные компьютером, полностью вытеснят объекты реально существующего окружающего мира. Для того, чтобы избежать возможного отрицательного эффекта использования модельных компьютерных сред в процессе обучения, определены два основных направления. Первое: при разработке ППС необходимо накладывать ограничения, вводить соответствующие комментарии, например, вкладывать их в уста педагогических агентов. Второе: использование современного компьютера в школьном образовании ни в коем случае не снижает ведущей роли учителя. Творчески работающий учитель понимает, что современные ППС позволяют учащимся осознать модельные объекты, условия их существования, улучшить таким образом понимание изучаемого материала и, что особенно важно, способствуют умственному развитию школьника. Справедливую критику полной замены реальной школьной лаборатории виртуальной следует направить скорее не разработчикам ППС, а в адрес нерадивых учителей, которые находят множество причин для исключения реального эксперимента из своей практики.

Эта статья представляет электронное издание «Виртуальная химическая лаборатория для 8-11 классов», разработанное в Лаборатории систем мультимедиа МарГТУ. При создании данного ППС разработчики попытались реализовать основные идеи современной концепции сотворчества ученика и компьютера, учесть замечания и преодолеть недостатки существующих образовательных электронных изданий. Виртуальная лаборатория содержит большое количество химических опытов, реализованных с использованием трехмерной графики и анимации. В статье также изложен подход, обеспечивающий эффективность финансовых и временных затрат, процесса разработки таких сложных мультимедиа систем как виртуальные лаборатории.

**2. Виртуальные эксперименты в преподавании химии**

Во многих исследованиях отмечается значение виртуальных экспериментов для химического образования и подчеркиваются преимущества их использования. Например, в (Dalgarno B., 2003) указывается, что виртуальные опыты могут применяться для ознакомления учащихся с техникой выполнения экспериментов, химической посудой и оборудованием перед непосредственной работой в лаборатории. Это позволяет учащимся лучше подготовиться к проведению этих или подобных опытов в реальной химической лаборатории. Необходимо особо отметить, что виртуальные химические эксперименты безопасны даже для неподготовленных пользователей. Учащиеся могут также проводить такие опыты, выполнение которых в реальной лаборатории может быть опасно или дорого. В (Dalgarno B., 2003) указывается, что проведение виртуальных экспериментов могло бы помочь учащимся освоить навыки записи наблюдений, составления отчетов и интерпретации данных в лабораторном журнале. В (Carnevale D., 2003) отмечается, что компьютерные модели химической лаборатории побуждают учащихся экспериментировать и получать удовлетворение от собственных открытий.

При создании виртуальных лабораторий могут использоваться различные подходы. Прежде всего, виртуальные лаборатории разделяются по методам доставки образовательного контента. Программные продукты могут поставляться на компакт-дисках (CD-ROM) или размешаться на сайте в сети Интернет. По способу визуализации различают лаборатории, в которых используется двухмерная, трехмерная графика и анимация. Кроме того, в (Robinson J., 2003) виртуальные лаборатории делятся на две категории в зависимости от способа представления знаний о предметной области. Указывается, что виртуальные лаборатории, в которых представление знаний о предметной области основано на отдельных фактах, ограничены набором заранее запрограммированных экспериментов. Этот подход используется при разработке большинства современных виртуальных лабораторий. Другой подход позволяет учащимся проводить любые эксперименты, не ограничиваясь заранее подготовленным набором результатов. Это достигается с помощью использования математических моделей, позволяющих определить результат любого эксперимента и соответствующее визуальное представление. К сожалению, подобные модели пока возможны для ограниченного набора опытов.

Эти подходы к созданию виртуальных лабораторий в разной степени использованы в известных зарубежных разработках. Например, образовательная среда Virtual Chemistry Laboratory, разработанная в Carnegie Mellon University (США), доступна через Интернет, но может распространяться и на компакт-дисках. Визуально она представляется в виде двумерных графических сцен, а ход химических экспериментов основан на математической модели (Yaron D. et al., 2001). Продукт Virtual Chemical Lab из Brigham Young University (США) поставляется на CD-ROM, использует трехмерную графику, а ход экспериментов в нем основан на наборе заранее запрограммированных фактов (Brian F., 2003). В доступной через Интернет Virtual Chemistry Laboratory из Oxford University (Великобритания) для демонстрации проводимых опытов используется большой набор видеофрагментов (Virtual chemistry - http://www.chem.ox.ac.uk/vrchemistry/).

Необходимо отметить, что возможности моделирования в образовательных мультимедиа продуктах во многом зависят от способа доставки образовательного контента. Очевидно, что для доставки через Интернет с его узкими информационными каналами лучше подходит двумерная графика. В то же время в электронных изданиях, поставляемых на CD-ROM, не требуется экономии трафика и ресурсов, и поэтому могут быть использованы трехмерная графика и анимация. Важно понимать, что именно объемные ресурсы - трехмерная анимация и видео - обеспечивают наиболее высокое качество и реалистичность визуальной информации. Однако объемы трехмерной анимации могут быть настолько велики, что даже возможности CD-ROM будут недостаточны для их хранения. Альтернативу объемным файлам анимации и видео, в которых используются последовательность готовых изображений, составляет более компактное представление трехмерных объектов. Синтезированная по этим моделям в реальном времени анимация также предоставляет большие возможности для создания трехмерной образовательной среды, моделирующей реальную лабораторию. Благодаря разумному сочетанию заранее подготовленной анимации и анимации, синтезированной в реальном времени трехмерных моделей, в условиях экономии ресурсов обеспечивается возможность реалистичного представления, как визуального окружения, так и действий учащегося во время проведения экспериментов. Такой подход и был выбран при разработке описанной в этой статье виртуальной химической лаборатории. Химическое оборудование, экспериментальные установки и визуализация сложных химических процессов представляются заранее подготовленными анимациями. В то же время, синтезированные в реальном времени трехмерные модели используются для моделирования химической посуды, жидких и твердых реактивов, действий учащихся в реальной лаборатории (школьники могут приливать из одного сосуда в другой, помещать реактивы в пробирки и доставать склянки с растворами с полок).

**3. Методические аспекты применения виртуальной химической лаборатории при изучении химии в 8-11 классах**

В состав электронного издания «Виртуальная химическая лаборатория для 8-11 классов», разработанного в Лаборатории систем мультимедиа, входят более 150 химических опытов из курса химии средней школы. Содержание данного ППС полностью охватывает весь курс школьной химии. Большое внимание уделяется соблюдению правил техники безопасности. Химические опыты проводятся в реализованной на экране монитора лаборатории со всем необходимым оборудованием и химической посудой (пробирки, стаканы, колбы, ступки, штативы и т.п.), а также химическими реагентами. Для того чтобы избежать переполнения визуального пространства на экране компьютера, учащимся доступен лишь тот набор лабораторного оборудования и реагентов, которые необходимы для проведения конкретного опыта. В некоторых опытах – это емкости с растворами, а в других – сложные химические установки (рис. 1).

Рис. 1. Виртуальная химическая лаборатория.

Химические опыты реализованы с использованием синтезированных в реальном времени трехмерных анимаций, благодаря чему, учащиеся, взаимодействуя с виртуальным оборудованием, могут проводить опыты так же, как в реальной лаборатории. Учащимся предоставляется возможность собирать химические установки из составляющих элементов и проводить шаг за шагом виртуальные эксперименты. Кроме того, они могут производить необходимые измерения, используя модели измерительных инструментов. Во время выполнения опыта учащиеся могут занести в «Лабораторный журнал» свои наблюдения в форме изображений, «сфотографированных» с экрана с помощью виртуального фотоаппарата, сделать там же необходимые записи и интерпретировать данные, полученные в ходе эксперимента. Специальный инструмент «Окно увеличения» служит для более детального наблюдения за протеканием химических реакций. Программа контролирует каждое действие учащегося, проводя его через все этапы, необходимые для успешного завершения опыта. Для этого используется педагогический агент, анимированный персонаж «Химик», который делает необходимые комментарии и дает соответствующие указания голосом и в текстовой форме. Для обеспечения удобства написания химических формул и уравнений реакций в «Лабораторном журнале» был разработан специальный инструмент «Редактор химических уравнений», реализованный с использованием технологии Macromedia Flash.

При проведении ряда практических работ ученики используют видеофрагменты, позволяющие школьникам увидеть проводимый ими эксперимент в реальной лаборатории. Апробация данного ППС показала возрастание познавательного интереса школьников к реальному эксперименту после работы в «виртуальной лаборатории», развитие их исследовательских и экспериментаторских навыков: соблюдение общих и специфических правил безопасности, выбор оптимальных алгоритмов выполнения эксперимента, умение наблюдать, выделять главное, акцентировать внимание на наиболее существенных изменениях.

В состав «Виртуальной химической лаборатории» входит «Конструктор молекул», предназначенный для построения трехмерных моделей молекул органических и неорганических соединений (рис. 2). Использование трехмерных моделей молекул и атомов для иллюстрации химических феноменов обеспечивает понимание всех трех уровней представления химических знаний: микро, макро и символьного (Dori Y. et al., 2001). Понимание поведения веществ и сущности химический реакций, становится более осознанным, когда есть возможность увидеть процессы на молекулярном уровне. Реализованы ведущие идеи парадигмы современного школьного химического образования: строение ® свойства ® применение.

Рис. 2. Конструктор молекул.

«Конструктор молекул» позволяет получать управляемые динамичные трехмерные цветные изображения штриховых, шаростержневых и масштабных моделей молекул. В «Конструкторе молекул» предусмотрена возможность визуализации атомных орбиталей и электронных эффектов, что значительно расширяет сферу использования моделей молекул при обучении химии.

Возможно использование «Конструктора молекул» при фронтальном объяснении нового материала, когда учителю необходимо показать модели молекул изучаемых соединений, обратить внимание учащихся на строение электронных орбиталей, их гибридизацию, особенности их перекрывания при образовании химической связи. Вместе с тем, как показала апробация данного ППС, высокая педагогическая эффективность использования «Конструктора молекул» достигается при индивидуальной и групповой работе школьников на уроке. Особый интерес вызывают творческие задания, носящие исследовательский характер. Продолжительное устойчивое внимание к изучаемым объектам наблюдалось при выполнении заданий, предполагающих самостоятельную разработку моделей молекул соединений, обладающих заданными свойствами, или, наоборот, прогнозирование свойств соединения, модель молекулы которого создана самим учеником.

При необходимости созданные учащимися модели молекул могут быть сохранены в формате VRML для последующего просмотра в WEB-броузере.

**4. Интерфейс «Виртуальной химической лаборатории»**

Создание эффективного пользовательского интерфейса для виртуальной лаборатории является трудной и ответственной задачей. Важно было предусмотреть возможность управления большим количеством составных частей химических установок, обеспечить выполнение основных лабораторных процедур способом, максимальным образом имитирующим реальные операции, а также предусмотреть для учащихся удобные управляющие и навигационные элементы. Было бы интересно построить пользовательский интерфейс на основе единой метафоры, разместив все управляющие и навигационные элементы в единое трехмерное пространство. Однако в виртуальной лаборатории во время проведения опытов учащимся приходится взаимодействовать с таким большим количеством реактивов, химической стеклянной посуды и оборудования, что добавление сюда же управляющих и навигационных элементов привело бы к переполнению визуального пространства экрана. В соответствии с этим ограничением при разработке пользовательского интерфейса нашей виртуальной лаборатории в трехмерном пространстве были оставлены только необходимые для проведения опыта управляющие элементы (например, виртуальный фотоаппарат для сбора наблюдений). Все же остальные навигационные и управляющие элементы были перенесены в двумерное пространство и размещены по краям экрана. Это позволило нам увеличить эффект присутствия для работающих с виртуальной лабораторией учащихся.

Существуют серьезные основания утверждать, что педагогические агенты, анимированные персонажи, очень важны для нового поколения образовательных программ (Nijholt А., 2001). Педагогические агенты учащимся помогают сконцентрировать внимание, ведут их через мультимедиа презентацию, обеспечивают дополнительные невербальные коммуникации через эмоции, жесты, движения тела. Таким образом, педагогические агенты делают взаимодействие пользователя с компьютером более «человеческим», более социальным.

Рис. 3. Педагогический агент.

Согласно приведенным выше доводам, в интерфейс виртуальной лаборатории был добавлен педагогический агент «Химик» (рис. 3). Этот персонаж реализован с помощью синтезированной в реальном времени трехмерной анимации. «Химик» осуществляет контроль за всеми действиями учащегося, направляет его при ошибочных действиях, помогает ему при возникновении проблем. Иногда педагогический агент сам принимает участие в проведении опытов, что делает выполняемые процедуры более занимательными.

Отмечается, что педагогические агенты способствуют повышению степени доверия учащихся к учебному материалу. Они повышают мотивацию учащихся и увеличивают время, которое учащиеся проводят, работая с обучающими программами (Lester J. et al., 1997). Для усиления степени доверия к агенту используются специальные средства, подчеркивающие его индивидуальность. Программа может генерировать набор спонтанных движений, изменяя визуализацию синтезированной в реальном времени трехмерной модели. Кроме этого, для моделирования поведения персонажа используется широкий набор поз, жестов, движений головы и выражений лица.

**5. Разработка виртуальной лаборатории**

Каким образом удалось сократить время и затраты на создание образовательной среды, состоящей более чем из 150 высоко-интерактивных экспериментов, большого количества сложных трехмерных объектов (химическая стеклянная посуда, химические растворы и различное оборудование), а также содержащей анимированного в реальном масштабе времени педагогического агента? Чтобы добиться этого, при разработке виртуальной лаборатории были использованы два современных похода к созданию многофункциональных мультимедиа насыщенных приложений.

Во-первых, был применен метод скриптов, в последнее время широко распространенный для описания сложного мультимедиа контента с высокой интерактивностью. Этот подход предоставляет широкий набор средств для описания необходимой структуры контента и способов взаимодействия пользователя с объектами в виртуальной среде, а также обеспечивает максимальную гибкость при разработке мультимедиа продуктов. Для формирования скрипта продукта был использован объектно-ориентированный язык высокого уровня NML, входящий в состав авторской среды NATURA.

Модель презентации в авторской среде NATURA представляется иерархической структурой, состоящей из сцен, мультимедиа объектов и их композиций (рис. 4).

Рис. 4. Иерархия мультимедиа объектов в NML.

Описание мультимедиа презентации в сценарии на языке NML ведется в следующем порядке. В начале сценария определяются константы, затем шаблоны мультимедиа объектов, композиций и сцен, далее описываются сами сцены. Для каждой сцены задается ее имя, описываются ее мультимедиа объекты, композиции и обработчики событий. В Таблице 1 представлен перечень базовых мультимедиа объектов, используемых в языке MNL.

Таблица 1. Мультимедиа объекты в языке NML.

|  |  |
| --- | --- |
| **Image**  | Статическое изображение  |
| **Anim**  | Анимация  |
| **Audio**  | Звук  |
| **Video**  | Видео  |
| **Html**  | html-документ  |
| **Object3d**  | Трехмерный объект, основанный на сеточной модели.  |
| **Motion**  | Описание движения трехмерного объекта.  |
| **Speech**  | Реплика трехмерного персонажа  |
| **Camera**  | Камера в трехмерном мире  |
| **Light**  | Освещение  |

Воспроизведение мультимедиа объектов в соответствии со сценарием производится презентационной программной оболочкой, состоящей из нескольких взаимосвязанных модулей - менеджеров: менеджер приложения, менеджер сцен, менеджер вывода графики, менеджер звука и менеджер ресурсов. Структурная схема авторской программной среды представлена на рисунке 5.

Презентационная программная оболочка функционирует следующим образом. Менеджер приложения проводит инициализацию графических библиотек, создает основное окно, проводит инициализацию остальных менеджеров и передает управление менеджеру сцен. Менеджер сцен загружает сценарий стартовой сцены, запускает потоки загрузки мультимедиа элементов и производит их инициализацию. Далее управление передается менеджеру вывода графики, который запрашивает у менеджера сцен список видимых элементов, объединяет их и выводит на экран. По мере воспроизведения, графические динамические мультимедиа элементы передают менеджеру вывода графики сообщения о необходимости обновления их изображения. Тот, в свою очередь, запрашивает у менеджера сцен список всех графических элементов, которые перекрываются с данным элементом, соединяет их изображения и результат выводит на экран.

Рис. 5. Схема авторской программной среды NATURA.

При команде перехода на другую сцену менеджер сцен останавливает работу менеджера вывода графики и менеджера звука, а затем удаляет из памяти сценарий сцены и все ее мультимедиа объекты. После этого загружается новая сцена и все ее мультимедиа объекты, выполняется их инициализация и запускаются менеджер вывода графики и менеджер звука.

Для визуализации многообразных графических элементов экранного пространства был использован многослойный подход, когда различные двумерные и трехмерные объекты размещаются в нескольких разных слоях, расположенных заданным способом (рис. 6). При формировании изображения на экране эти слои объектов с учетом прозрачности накладываются друг на друга, обеспечивая необходимое динамическое представление графической информации.

Рис. 6. “Сэндвич” из слоев презентации.

**6. Заключение**

Создание образовательных сред для активного обучения, повышающих мотивацию учащихся, является неотъемлемой частью успеха в стратегии внедрения электронных образовательных ресурсов. Программное обеспечение для таких продуктов так же, как для описанной в этой статье виртуальной лаборатории, основано на моделировании и использовании насыщенного мультимедиа контента. Техническая сложность и значительная стоимость таких проектов является основным препятствием на пути широкого распространения виртуальных обучающих сред. Необходимы новые подходы для решения этой проблемы. Для создания таких систем мы предлагаем описанный в данной статье подход, основанный на применении авторской среды NATURA, использующей специальный язык для описания скриптов и позволяющей легко сочетать синтезированную в реальном масштабе времени трехмерную графику, с другими графическими и анимационными компонентами. Как было показано, этот подход позволил обеспечить эффективную разработку многофункциональной виртуальной химической лаборатории. Мы полагаем, что данный подход может быть полезен при создании других виртуальных обучающих сред.

**Список литературы**

 [Anderson T. et al., 2004] Anderson, Terry; Elloumi, Fathi (eds.),"Theory and Practice of Online Learning”, Athabasca University, 2004.

[Brian F., 2003] Brian F. Woodfield, Merritt B. Andrus, Virtual ChemLab for Organic Chemistry , Prentice Hall, September 2, 2003.

[Carnevale D., 2003] Carnevale, Dan, “The Virtual Lab Experiment”, Chronicle of Higher Ed, January 31, 2003, p. A30.

[Dalgarno B., 2003] Dalgarno, Barney; Bishop, Andrea and Bedgood, Danny, “The potential of virtual laboratories for distance science education teaching: reflections from the initial development and evaluation of a virtual chemistry laboratory”, Proceedings of theImproving Learning Outcomes Through Flexible Science Teaching, Symposium, The University of Sydney, October 3, 2003, pp. 90-95.

[Dori Y. et al., 2001] Dori, Y.J. and Barak, M. (2001), “Virtual and Physical Molecular Modeling: Fostering Model Perception and Spatial Understanding”, Educational Technology & Society, 4(1), pp. 61-74.

[Lester J. et al., 1997] Lester, J., Voerman, J., Towns, S., Callaway, C., "Cosmo: A Life-Like Animated Pedagogical Agent with Deictic Believability," in Notes of the IJCAI '97 Workshop on Animated Interface Agents: Making Them Intelligent, Nagoya, Japan, 1997, pp. 61-70.

[Nijholt А., 2001] Nijholt, A., “Agents, Believability and Embodiment in Advanced Learning Environments”, Proc. IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2001), T. Okamto, R. Hartley, Kinshuk & J.P.Klus (eds.), 2001, pp. 457-459. [Prensky M., 2000] Prensky, Мark, Digital Game-Base Learning, McGraw-Hill, 2000.

[Robinson J., 2003] Robinson, Jamie, “Virtual Laboratories as a teaching environment: A tangible solution or a passing novelty?”, 3rd Annual CM316 Conference on Multimedia Systems, based at Southampton University. http://mms.ecs.soton.ac.uk/mms2003/papers/5.pdf.

[Virtual chemistry] Virtual chemistry. www.chem.ox.ac.uk/vrchemistry/

[Yaron D. et al., 2001] Yaron, D., Freeland, R., Lange, D., Karabinos, M., Milton, J., and Belford, R., “Uses of Flexible Virtual Laboratory Simulations in Introductory Chemistry Courses”, CONFCHEM 2001.

[Дорофеев М.В., 2002] Дорофеев М.В. Информатизация школьного курса химии//Химия. Издательский дом «Первое сентября». 2002. № 37. С. 2-4.

[Морозов М.Н. и др., 2002] Морозов М.Н., Танаков А.И., Быстров Д.А. Педагогические агенты в образовательном мультимедиа для детей: виртуальное путешествие по курсу естествознания//Proceedings of International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Казань. 9-12 сент. 2002. - Казань: КГТУ, 2002. - С.69-73.