

Глава 18

ИНФОРМАЦИОННОЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ

Использование метода компьютерного моделирования предполагает создание цифровых моделей объектов с помощью компьютера и специализированного программного обеспечения: электронных таблиц, баз знаний, графических и анимационных редакторов, симуляторов, виртуальных лабораторий и т. д. Эта глава посвящена рассмотрению следующих направлений компьютерного моделирования: 1) построение информационных моделей изучаемых объектов и явлений с помощью электронных таблиц и баз данных; 2) разработка 2D- и 3D-геометрических моделей объектов, создание виртуальной реальности; 3) моделирование интеллектуальной деятельности человека, разработка систем искусственного интеллекта; 4) разработка различных роботов, моделирующих поведение человека и животных.

18.1. Информационное моделирование

Для эффективного изучения некоторой совокупности объектов с помощью ЭВМ, необходимо особым образом структурировать и закодировать имеющиеся данные при помощи специальной системы знаков или языка. В результате получается совокупность информационных моделей (ИМ) объектов (процессов), каждая из которых представляет собой особым образом структурированную информацию, характеризующую наиболее существенные параметры объекта, входные, выходные величины и связи между ними. Различают: 1) описательные ИМ, созданные на естественном или разговорном языке (английском, русском и т. п.); 2) формаль-

ные информационные модели, в которых используется алгоритмический, математический или иной язык кодирования и применяются таблицы, формулы, схемы, графы, карты и т. д. ИМ позволяют решать разнообразные задачи: моделировать отклик объекта на внешние воздействия, прогнозировать динамику его развития, оптимизировать параметры системы по отношению к заданной целевой функции, осуществлять адаптивное управление системой.

Один из способов представления информации в ИМ состоит в создании таблиц [4, с. 95-123; 10, с. 96-101]. Различают таблицы типа "объекты-свойства" (перечисляются объекты и свойства, указывается, какие свойства и в какой степени присущи каждому объекту), "объекты-объекты" (рассматривается свойство, характеризующее пару объектов). Обычно таблица состоит из трех частей: **головки**, **боковика** и **прографки**. Таблица на рис. 18.1.1 содержит пять строк и пять столбцов, всего 25 ячеек. Головка содержит заголовки отдельных столбцов, а боковик - заголовки строк. В сложных случаях головка и боковик таблицы многоуровневые (рис. 18.1.2); уровни головки и боковика называются **ярусами** и **ступенями** соответственно. Если значения в тех или иных ячейках вычисляются с использованием значений из этой же таблицы, то такие таблицы называются **вычислительными**.

ГОЛОВКА ТАБЛИЦЫ 1					ОЦЕНКИ 2						
БОКОВИК	ПРОГРАФКА				1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	5 кл.		
					Онегин Е.П.	литература	3	4	3	4	4
						математика	5	5	4	4	3
					Печорин С.Р.	литература	3	4	3	4	4
						математика	4	4	5	4	5
					Ростова А.В.	литература	4	4	5	5	5
					математика	4	4	5	4	5	

Рис. 18.1. Структура простой и сложной таблиц

Электронные (динамические таблицы), или табличные процессоры, - программы, предназначенные для работы с большими массивами

числовой информации. В электронных таблицах данные размещаются в клетках (ячейках) таблицы в текстовом и/или числовом формате. В некоторые ячейки записываются формулы. Информационная структура не статическая, а динамическая: при изменении исходных данных происходит автоматический пересчет остальных полей таблицы. Режимы работы: формирование таблицы, редактирование, вычисление по формулам, считывание и сохранение в НЖМД, статистическая обработка элементов таблицы, упорядочивание по признаку, работа как с базой данных, построение графиков и диаграмм, печать на бумагу.

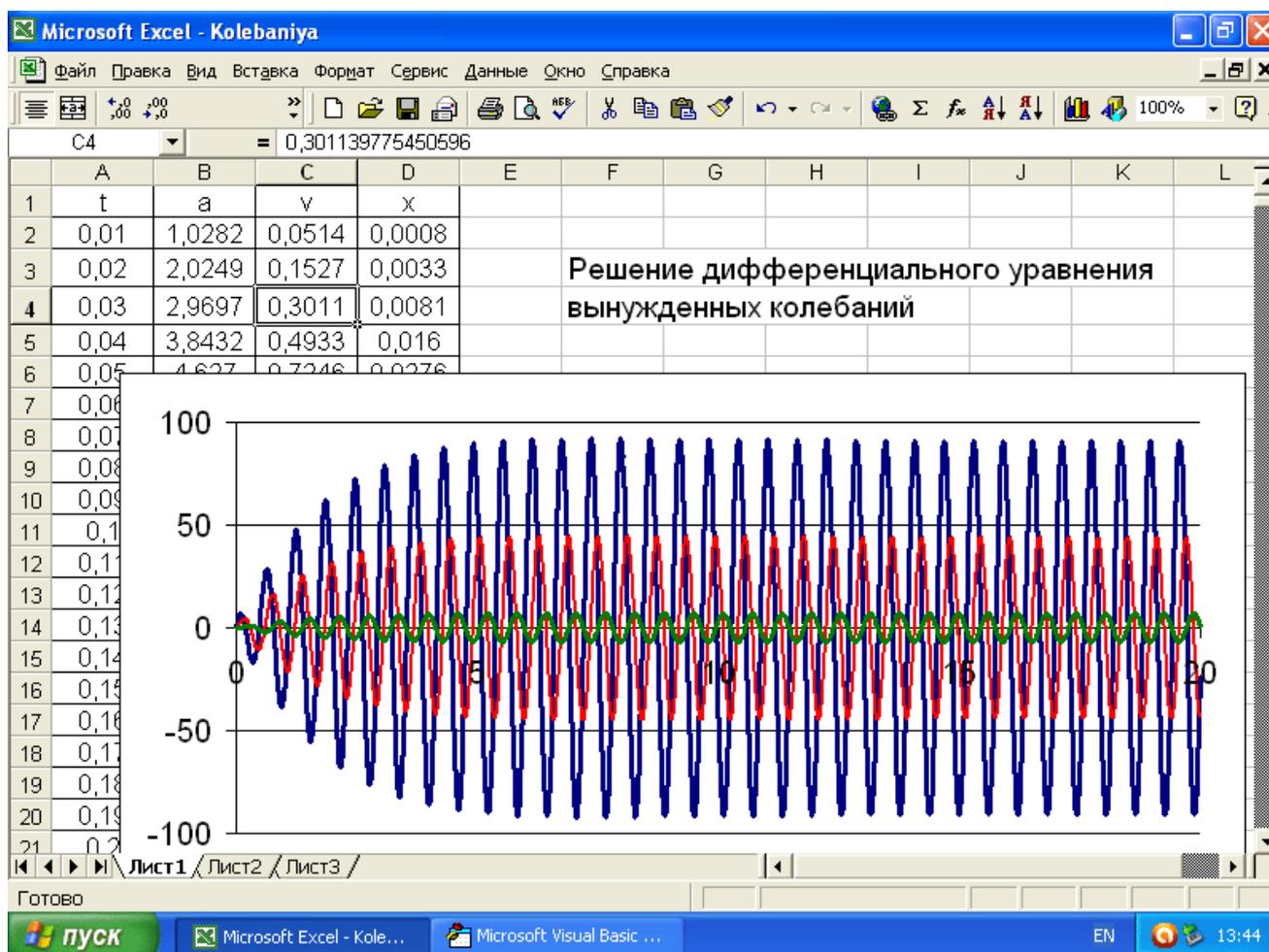


Рис. 18.2. Моделирование вынужденных колебаний в MS Excel

Например, табличный процессор Excel из пакета Microsoft Office. Рабочее поле представляет собой экранное окно, в котором видна часть таблицы (максимальное число строк - более 10000, число столбцов - бо-

лее 200). Имеются системы подсказок, меню, строка ввода, строка формул, строка состояния с информацией о текущей ячейке. При расчетах по формулам можно использовать встроенные функции. Программа хранит в табличной форме не только исходные данные, но и математические соотношения между ними, а также позволяет создавать макросы на языке Visual Basic. На рис. 18.2 представлен результат моделирования вынужденных колебаний в пакете MS Excel.

Базой данных (БД) называется специальным образом организованная и хранящаяся во внешней памяти компьютера информация о некоторой совокупности объектов. **Система управления базами данных (СУБД)** представляет собой систему программ, позволяющих создавать БД, обновлять хранимую в ней информацию, обеспечивающих удобный доступ к ней с целью просмотра и поиска. Внешнее запоминающее устройство, предназначенное для хранения БД, должно иметь высокую информационную емкость и малое время доступа к хранимой информации. Перечислим режимы работы с СУБД: создание БД, редактирование БД, просмотр, копирование, распечатка, поиск и сортировка данных по заданному признаку. СУБД обеспечивает работу с большими объемами информации, быстроту поиска данных, их непротиворечивость, защиту от разрушения и несанкционированного доступа, систему подсказок.

Группа связанных между собой элементов информации об объекте называется **записью**. Различают три типа организации данных и связей между ними: иерархический (древовидный), сетевой, реляционный. В **иерархической БД** один элемент считается главным, остальные - подчиненными. **Сетевая БД** дает возможность устанавливать дополнительно к вертикальным связям горизонтальные связи. В **реляционной БД** данные хранятся в таблице; под записью понимается строка таблицы, содержащая информацию об одном объекте. Элементы записи или **поля** образуют столбцы этой таблицы. Все элементы в столбце имеют одинаковый тип (числовой, символьный), каждый столбец - неповторяющееся имя. Преимущество таких БД - наглядность и понятность организации данных,

скорость поиска нужной информации. БД и СУБД образуют **информационно-поисковую систему**, называемую **банком данных**.

На основе БД может быть построена **база знаний**, позволяющая, исходя из заложенных данных и правил логического вывода, получать новые факты, которые не были в нее заложены. Все модели представления знаний сводятся к одному из следующих классов [1, с. 17-27]:

1. **Семантические сети**, имеющие вид орграфов, вершины которых соответствуют понятиям, а дуги (ребра) - отношениям между ними.
2. **Фреймы**, состоящие из имен и связанных с ним слотов, которые заполняются данными в числовой или текстовой формах.
3. **Формальные логические модели**, задаваемые множествами базовых элементов, синтаксических правил, аксиом и правил вывода, которые позволяют выводить новые знания.
4. **Продукционные модели**, основанные на использовании логических правил вида: Если (условие А), то (истинно утверждение В).

18.2. Геометрическое моделирование

Еще одним видом компьютерных моделей являются двумерные (2D) и трехмерные (3D) геометрические модели объектов [3; 5]. Область информатики, в которой с помощью ЭВМ синтезируются изображения предметов, а также обрабатывается визуальная информация, полученная с помощью фото- и видеокамеры, называется **компьютерной графикой** (КГ). Примерами ее использования являются графический интерфейс ЭВМ, цифровое телевидение, цифровая фотография, лазерная графика, спецэффекты, системы автоматизированного проектирования. Компьютерное проектирование осуществляется с помощью модуля CAD (Computer Aided Design). Кроме создания геометрических моделей объектов (рис. 18.3 и 18.4) компьютерная графика используется для обработки изображений:

распознавания образов, анализа сцен, состоящих из множества объектов, визуализации синтезированных абстрактных изображений.

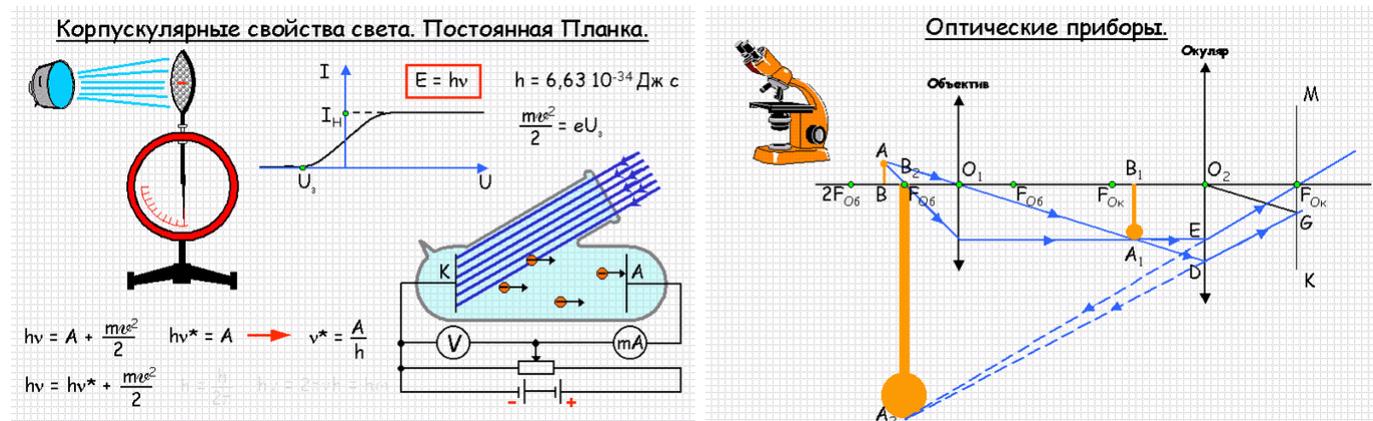


Рис. 18.3. Графические модели в мультимедийном курсе "Ваш репетитор. Физика"

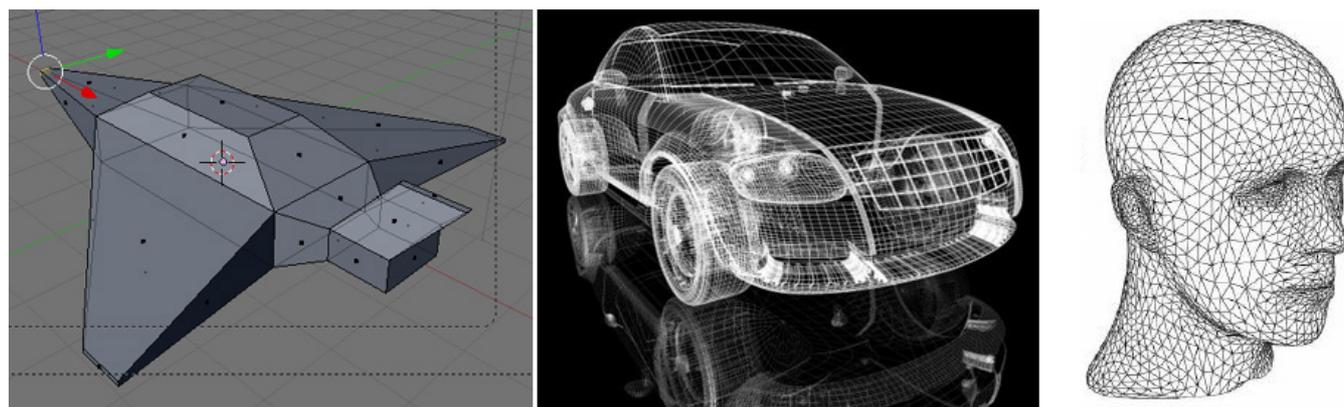


Рис. 18.4. Графические 3D-модели объектов [11 -13]

Широкое применение КГ обусловлено тем, что человек около 80 % информации воспринимает с помощью органов зрения. Бурное развитие КГ начинается с 1971-1985 гг., когда появились персональные компьютеры с графическим интерфейсом. Рост производительности процессора привел к появлению **технологии мультимедиа** в 1986-1990 гг., которая состояла в объединении высококачественного изображения на экране монитора со звуковым сопровождением. Компьютер стал одновременно обрабатывать графическое изображение, видео и звук. Появилась возможность обмена информацией между пользователем и ПЭВМ, соз-

дания анимации и получения на экране цветного изображения. Дальнейшее увеличение быстродействия ЭВМ привело к созданию виртуальной реальности (1991-2008 гг.). Стали использоваться стереочки, датчики перемещения, киберперчатки, кибершлем, киберкостюм и другие устройства, обеспечивающие эффект присутствия человека в виртуальном мире.

Рассматривая КГ, обычно выделяют: 1) научную графику (графики, диаграммы, чертежи); 2) деловую графику (отчетная документация, статистические сводки); 3) конструкторскую графику (получение 2D- и 3D-изображений объектов с помощью САПР - систем автоматизации проектирования); 4) иллюстративную графику; 5) художественную и рекламную графику (рекламные ролики, мультфильмы); 6) компьютерную анимацию (компьютерные игры, видеоуроки, видеопрезентации).

По способу создания двумерная графика подразделяется на растровую, векторную и фрактальную [2]. Элементом **растрового изображения** является пиксель - светящаяся точка, характеризующаяся координатами, цветом и прозрачностью. Компьютер оперирует двумерной матрицей пикселей, поэтому обработка растровых изображений требует высокого быстродействия и больших объемов памяти. Без потерь качества можно только уменьшать изображения, но при этом уменьшается число пикселей, часть информации теряется. При увеличении картинки пиксели увеличиваются в размерах, превращаясь в квадраты, их количество остается прежним, а качество изображения снижается.

Векторное изображение состоит из геометрических примитивов: точек, прямых, окружностей, прямоугольников, эллипсов, полигонов и т. д. Изображение сохраняется как набор кодов примитивов и их атрибутов, характеризующих цвет, тип линий, положение на слое, заливку, масштаб и т. д. Примитивы можно создавать, копировать, удалять, изменять свойства, перемещать, масштабировать, закрашивать и т. д. Преимущество в том, что изображение может без потерь информации масштабироваться, поворачиваться, деформироваться, что важно при создании анимаций. **Фрак-**

тальные изображения порождаются программой, создающей самоподобный объект, отдельные элементы которого наследуют свойства родительских структур.

Для графического моделирования трехмерных объектов и их проекций на плоскость используется трехмерная графика [2; 5]. В **воксельной** 3D-графике модели объектов состоят из трехмерных элементов кубической формы подобно тому, как растровое 2D-изображение состоит из пикселей. При увеличении размеров воксельного изображения снижается его качество, а при уменьшении - теряется часть информации. Объект в **полигональной** КГ представляется в виде совокупности элементарных поверхностей - полигонов. В простейшем случае полигоном является треугольник, размеры и положение которого определяются координатами его трех вершин. Монитор состоит из двумерной матрицы светоизлучающих элементов, поэтому проекция трехмерных моделей на плоскость монитора выводится как растровое изображение. Человек рассматривает двумерную проекцию 3D-объектов на плоскость экрана, и в его сознании формируется трехмерное изображение.

18.3. Преобразование 3D-объектов. Среды для геометрического моделирования

Для переносов, масштабирования и поворотов 3D-объектов используются **матрицы поворота, сдвига и масштабирования**. При их умножении на вектор $\vec{A} = (a_x, a_y, a_z)$ происходит его поворот вокруг соответствующей оси, параллельный перенос или изменение длины [20].

Вращение в трехмерном пространстве представимо в виде последовательности поворотов вектора \vec{A} вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, например, вокруг осей декартовой системы координат $OXYZ$. Соответствующие матрицы поворота имеют вид [5, с. 148-149; 9]:

$$M_x(\alpha) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix}, \quad M_y(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & 0 & -\sin \alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \alpha & 0 & \cos \alpha \end{pmatrix},$$

$$M_z(\alpha) = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Для правой системы координат положительным направлением вращения считается движение вектора против часовой стрелки. При повороте вектора $\vec{A} = (a_x, a_y, a_z)$ на угол α вокруг оси OX применяются формулы:

$$A' = M_x A \text{ или } \begin{pmatrix} a'_x \\ a'_y \\ a'_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{pmatrix},$$

$$a'_x = a_x, \quad a'_y = a_y \cos \alpha - a_z \sin \alpha, \quad a'_z = a_y \sin \alpha + a_z \cos \alpha.$$

Повороту вокруг произвольной оси соответствует матрица, равная произведению соответствующих трех матриц поворота. При переносе и повороте изменяется ориентация геометрической модели объекта по отношению к плоскости экрана, сама модель остается неизменной.

Про моделировать поворот тела, выполненного в виде прямоугольного параллелепипеда (рис. 18.5.1), можно с помощью программы ПР-1. Координаты 8 вершин записаны в массиве v_{ij} , где $i = 1, 2, \dots, 8$ - номера вершин, а $j = 1, 2, 3$ соответствует координатам x, y, z . Программа содержит процедуру *Raschet*, в которой вычисляются новые значения координат вершин, и процедуру *Postroenie*, соединяющую соответствующие вершины отрезками. Основная часть программы содержит цикл по времени, в котором очищается экран и попеременно вызываются эти процедуры.

Для того чтобы создать эффект объемности, трехмерное изображение колеблется с небольшой амплитудой и частотой относительно оси, проходящей через самую удаленную точку. Программа ПР-2 создает на экране изображение угла, колеблющегося вокруг оси OA (рис. 18.5.2).

При этом близко расположенные к наблюдателю точки объекта M и N смещаются сильнее, чем удаленные точки R и S . Возникает иллюзия параллакса, и мозг воспринимает такое изображение как трехмерное.

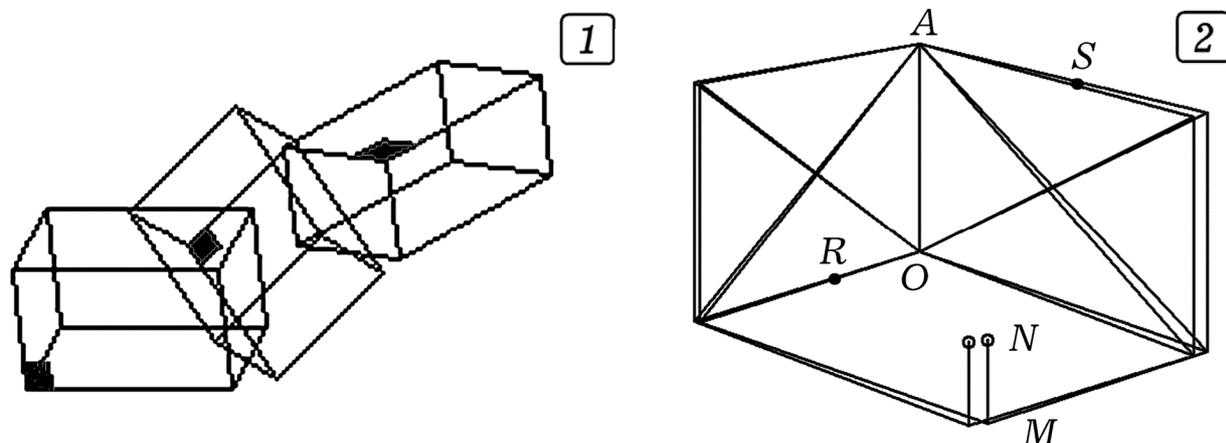


Рис. 18.5. Перенос и вращение параллелепипеда. Эффект трехмерности

Для создания двух- и трехмерных моделей объектов используются различные программные продукты, например 3D Studio MAX, Blender, 3D Canvas (рис. 18.6). С их помощью можно, используя геометрические примитивы (шар, куб, цилиндр и т.д.), создать 3D-модель объекта. Кроме перемещения, поворота и масштабирования объектов они позволяют осуществить полиобъектное моделирование, 3D-композинг (создание композиций), наложение нескольких текстур на одну грань, покраску объектов и подбор требуемой фактуры для их поверхности, создать реальную прозрачность и размытое изображение, задать функции закраски для моделирования отражения или текстуры неровной поверхности, расположение и параметры источников света и камеры, визуализировать сцену, состоящую из совокупности объектов и окружающего их интерьера (фона). Эти среды также позволяют объединять объекты в группы и применять ко всей группе то или иное преобразование. Сцена может состоять из произвольного количества групп объектов.

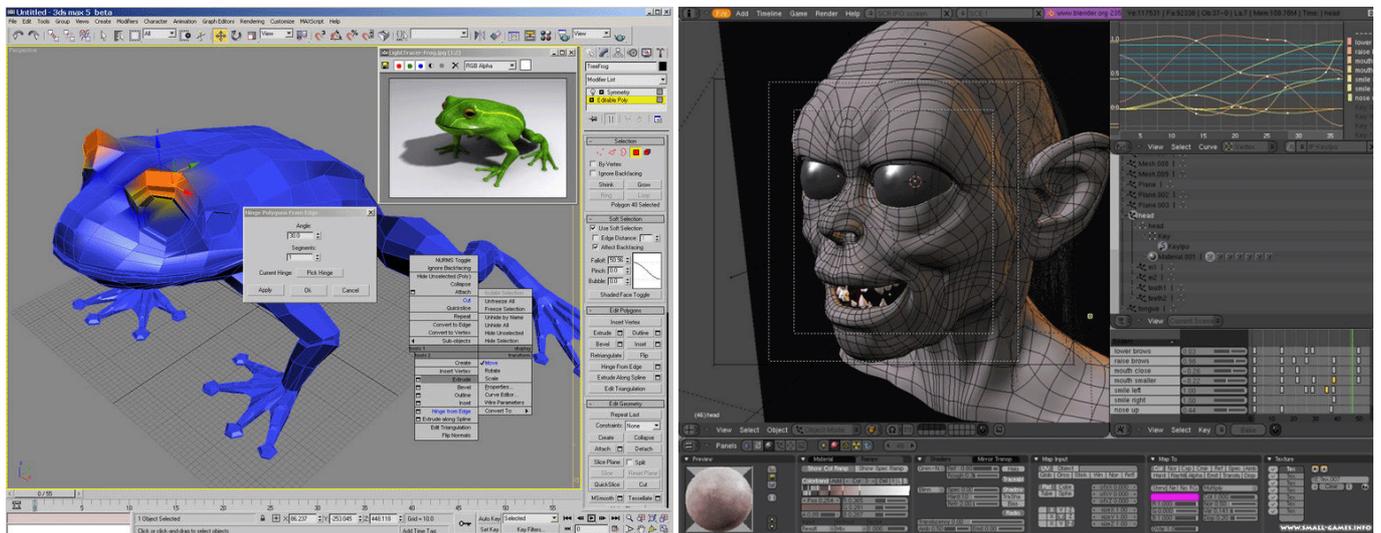


Рис. 18.6. Редактирование изображений в 3D Studio Max [13] и Blender [11]

Чтобы получить анимацию, создают последовательность изображений сцены, на которых объекты смещаются на незначительные расстояния, поворачиваются, деформируются и трансформируются в другие объекты, изменяют свойства поверхности. Среды для создания графических моделей включают объемную систему моделирования скелета, изменение формы живого персонажа, моделирует динамику мягких тел. Все это используется для разработки игр и создания виртуальной реальности.

18.4. Трассировка лучей. Удаление невидимых элементов

Большое значение в КГ имеет расчет освещенности различных точек сцены в зависимости от положения источника света и наблюдателя, от расположения теней, создаваемых всеми объектами, от фактуры поверхности. Используется метод трассировки лучей [5, с. 99], заключающийся в расчете хода световых лучей от источника до поверхности объектов, а после отражения - до глаза наблюдателя (камеры). С целью повышения быстродействия вычислений ограничиваются учетом выборочных лучей, достаточных для того, чтобы изображение сцены выглядело бы реали-

стично. Для этого используют законы прямолинейного распространения света в оптически однородной среде, закон отражения, закон преломления и закон обратимости светового луча.

Пусть источник света S освещает цилиндр 1, за которым расположена стена 2 (рис. 18.7.1), а глаз наблюдателя (камера) находится в точке O . Свет диффузно отражается от поверхности стены и объекта. Интенсивность света, отраженного от точки A , пропорциональна произведению освещенности E поверхности в точке A на косинус угла отражения β : $I = kE \cos \beta$. Источник света S точечный, освещенность стены в точке A равна $E = I \cos \alpha / r^2$, где α - угол падения, а r - расстояние от S до A . Компьютер рассчитывает освещенности различных точек поверхностей объектов и количество световой энергии, содержащейся в отраженных и преломленных лучах. Результирующая освещенность складывается из освещенности, создаваемой источником света и лучами, отраженными от других объектов. Пример моделирования представлен на рис. 18.7.2.

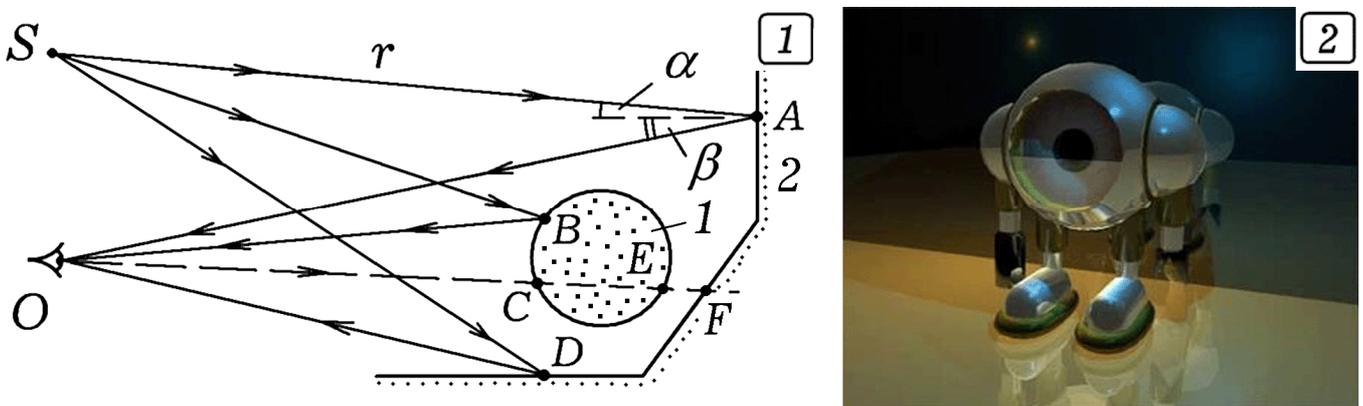


Рис. 18.7. Освещенность различных точек 3D-объектов и результат моделирования в 3D Canvas [12]

В 3D-пространстве предметы, находящиеся ближе к наблюдателю, перекрывают объекты, расположенные далеко. Поэтому необходимо удалить невидимые линии и поверхности моделируемых объектов [5, с. 504]. На экране должны быть нарисованы только те тела и их части, которые находятся в поле зрения наблюдателя и не закрываются другими

талами. Если объект частично экранирован (заслонен) другими непрозрачными телами, то для его реалистичного отображения на экране решается задача удаления невидимых элементов. Используется закон обратимости светового луча: считают, что из глаза наблюдателя в направлении сцены выходят "обратные лучи" (например, OC), и определяют их ближайшие пересечения с поверхностями объектов (точка C). Эти точки и будут видны; точки E и F пересечения обратного луча с остальными поверхностями оказываются экранированными, и приемник их не воспринимает. Те объекты, которые находятся сбоку или сзади наблюдателя, не попадают в поле зрения. В памяти ЭВМ 3D-модели располагаются в трехмерном пространстве, и компьютерная программа позволяет изменять положение наблюдателя и направление обзора так, что возникает эффект виртуальной реальности.

18.5. Виртуальная реальность как модель мира

Виртуальной реальностью (VR) называется искусственный мир, созданный с помощью компьютера, с которым человек взаимодействует посредством органов чувств (зрение, слух, осязание и т. д.) в режиме реального времени. Объекты VR представляют собой графические модели, имитирующие поведение реальных объектов. Программа рассчитывает движение твердых и жидких тел, исходя из законов физики, учитывая гравитационное притяжение, силу Архимеда, вязкое трение, столкновение с другими предметами и т. д. Погрузившись в VR, человек получает более широкие возможности, чем в реальной жизни (летает, плавает, высоко прыгает, создает различные предметы, быстро восстанавливает здоровье, имеет несколько жизней и т. д.). VR используется в образовательных, маркетинговых, военных, научных и других целях.

Для обеспечения более полного погружения в VR используется стереоэффект, для достижения которого каждому глазу предоставляется

своя картинка, изображающая предмет слева и справа. Существуют разные способы создания стереоэффекта: 1) применяется монитор с цветовым смещением (анаглиф) и очки с разноцветными стеклами; 2) монитор поочередно выводит то "левое", то "правое" изображения, а человек одевает очки, которые синхронно с монитором поочередно меняют прозрачность; 3) используют **кибершлем**, который подключен к компьютеру, и для каждого глаза с помощью левого и правого ЖК-монитора создает свое изображение (рис. 18.8). Кибершлем (шлем виртуальной реальности) обеспечивает индивидуальное погружение в виртуальный мир, широкий угол обзора и изменение направления взгляда вместе с поворотом головы. Внутри него находятся вращающиеся гироскопы, контролирующие изменение ориентации в пространстве. Эффект нахождения в ВР также может быть создан с помощью комнаты виртуальной реальности, на все стены которой проецируется 3D-стереоизображение. **Трекинговая система** отслеживает перемещения пользователя, поворот головы и изменение направления зрения. Чтобы усилить **эффект присутствия в ВР** используется многоканальная акустическая система, позволяющая определять направление на источник звука, и киберкостюм, имитирующий тактильные ощущения.



Рис. 18.8. Средства для погружения в виртуальную реальность

На основе ВР были созданы виртуальные миры (например *Active World, Second Life*) [14]. **Виртуальный мир** - это интерактивная трехмерная виртуальная среда, основанная на использовании компьютеров, объе-

диненных в сеть так, что пользователи могут взаимодействовать с ней и друг другом с помощью **аватаров**. Для этого нужно подключиться через Интернет к серверу, зарегистрироваться и установить на своих компьютерах клиентскую программу. Каждый человек выбирает свой **аватар** – цифровую модель, которая будет “жить” в VR, моделирующей реальный мир: сушу, море, города и т. д. (рис. 18.9). Попав в виртуальный город, можно ходить по улицам, посещать дискотеки, выставки, учебные занятия и т. д. Зайдя в виртуальный магазин, человек (с помощью своего аватара) может купить одежду или другой товар, сменить лицо и т. д. Пользователи могут общаться через чат с помощью микрофона или видеокамеры с аватарами других людей в режиме реального времени. Виртуальный мир позволяет создавать новые виртуальные объекты: здания, машины, самолеты и т. д. Для управления аватарами используются клавиатура, мышь, киберперчатки, киберкостюм. Виртуальные миры нашли широкое применение для развлечений, общения, обучения и в военных целях.



Рис. 18.9. 3D-модели объектов в виртуальной реальности [14]

Разработка **Second Life (SL)** и других виртуальных миров привела к тому, что учителя и преподаватели стали исследовать возможности их использования для обучения. Для этого в SL создавались виртуальные аудитории для проведения занятий; в них собирались преподаватели и студенты (их аватары) и обсуждали различные вопросы. Преимущество использования SL в учебных целях состоит в том, что она играет роль социальной лаборатории, в которой пользователи участвуют в ролевых

играх, занимаются совместной деятельностью, проводят исследования и эксперименты без риска для себя и других людей. В SL студенты получают возможность общения с людьми по всему миру. Однако из-за открытости проекта SL виртуальные постройки и аудитории подвергались вандализму со стороны хулиганов (их аватаров).

Альтернативой использования SL в образовательных целях является российский проект **Виртуальная Академия** или vAcademia (VA) [15]. Виртуальная академия представляет собой трехмерную многопользовательскую образовательную платформу, на базе которой возможно организовывать и посещать учебные занятия, тренинги, презентации в группах от 2 до 30 человек. Чтобы подключиться к ней, необходимо зарегистрироваться на сайте [15], скачать программный клиент vAcademia и установить его на своем компьютере.

В образовательном ВМ vAcademia учебные занятия проходят на некотором острове, учителя и ученики заменены их аватарами. Интерактивные доски позволяют писать, рисовать, демонстрировать слайды, видеозаписи, изображение с видеокамеры или экрана компьютера. Учитель может использовать несколько досок в каждом классе и переключаться с одной на другую; каждый ученик также может создать свою доску и вести на ней записи. Система поддерживает текстовую, голосовую и видеосвязь. Важное преимущество VAcademia состоит в возможности создания 3D-записей всего происходящего в ВМ. Получаемая 3D-запись воспроизводит изображения с интерактивных досок, движение аватаров, обмен текстовыми и голосовыми сообщениями. Ее можно просмотреть позже, посетив уже состоявшееся занятие без возможности повлиять на его ход. Эта технология позволяет создать интерактивный образовательный 3D-контент, обеспечивает новый подход к обучению [8].

18.6. Виртуальные лаборатории и симуляторы

Перечислим основные направления применения ВР в образовательных целях: 1) создание виртуальных образовательных миров, в которых желающие могут дистанционно проводить и посещать занятия, презентации и т. д.; 2) применение виртуальных лабораторий, моделирующих проведение различных экспериментов; 3) использование симуляторов автоматизированных комплексов для подготовки различных специалистов (летчиков, водителей и т. п.).

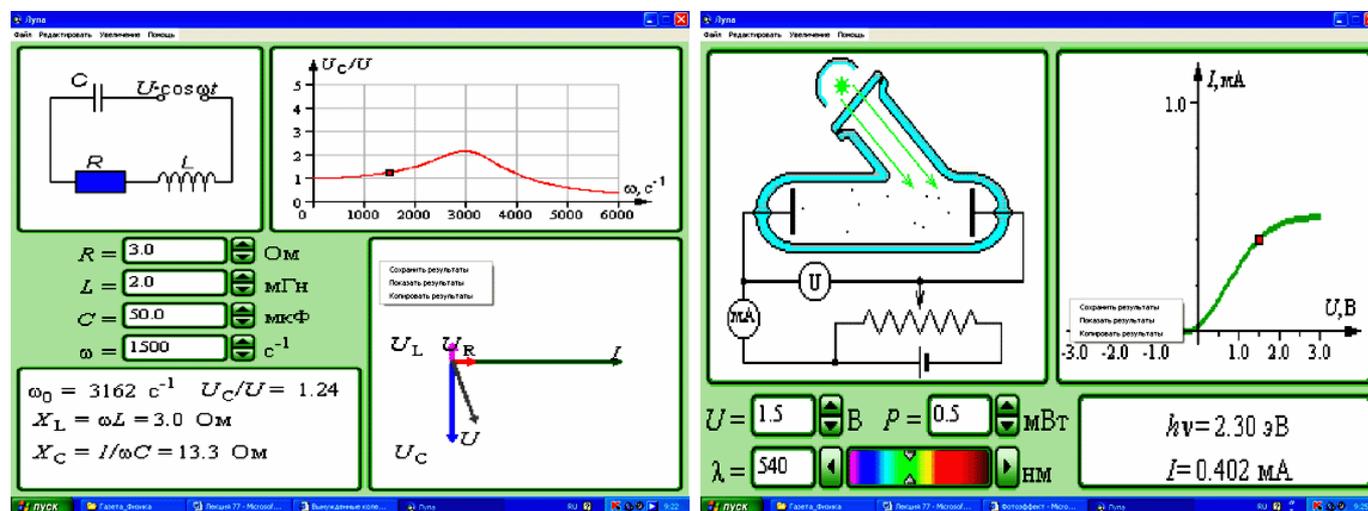


Рис. 18.10. Изучение вынужденных колебаний и фотоэффекта в мультимедийном курсе "Открытая физика"

В последнее время появились различные **мультимедийные курсы** и **виртуальные лаборатории (ВЛ)**, содержащие модели исследуемых объектов и измерительных приборов, которые позволяют выполнить виртуальный "эксперимент", сделать "измерения", построить графики и т. д. К ним относятся "Цифровая коллекция лабораторных работ по физике. Механика. Электродинамика", задания интернет-олимпиады "Барсик", "Виртуальные лабораторные работы по механике. 7-9 классы", "Живая физика", "Открытая физика", "Конструктор виртуальных экспериментов" и другие. Они применяются при изучении физики, химии, биологии. В качест-

ве примера рассмотрим мультимедийный курс "Открытая физика" (рис. 18.10). Используемая программа обеспечивает интерактивное взаимодействие с учеником, позволяет изменять условия виртуального эксперимента, параметры изучаемого объекта, его начальное состояние и характер оказываемых воздействий. Как правило, подобные программы позволяют решить физические и конструкторские задачи, имеют справочные материалы, калькулятор и серию тестовых заданий, позволяющих оценить знания ученика.

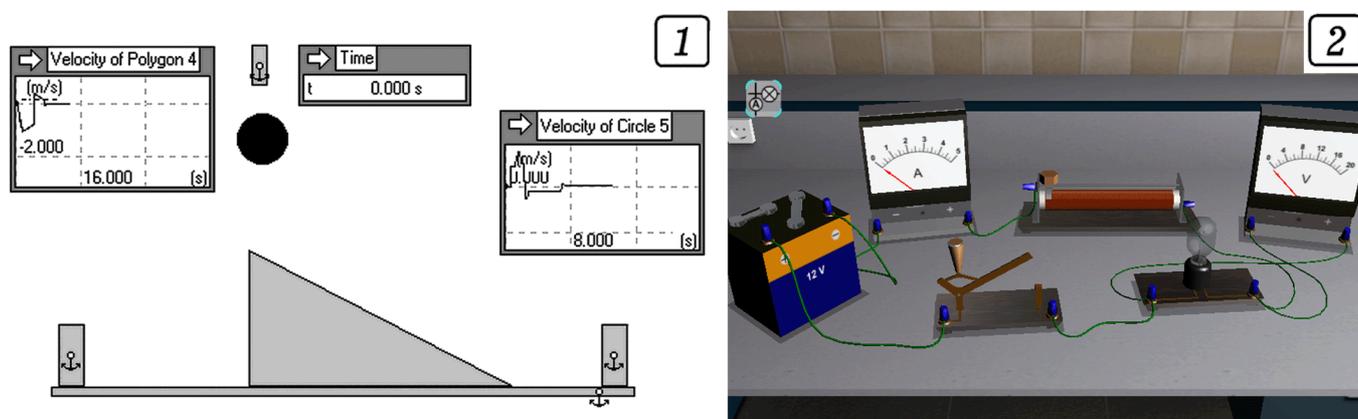


Рис. 18.11. Моделирование явлений в виртуальных лабораториях

Использование виртуальных лабораторий при изучении естественных наук позволяет: 1) познакомиться с фундаментальными экспериментами, не воспроизводимыми на уроке; 2) создать наглядные образы объектов, которые не воспринимаются органами чувств человека (электроны, фотоны, строение атомов, молекул и т. д.); 3) изучить динамику развития явления в другом пространственно-временном масштабе; 4) выполнить систему экспериментальных заданий, варьируя условия "опытов"; 5) осуществить информационную поддержку реального эксперимента. Применяются следующие виды моделей: 1) статическая модель-рисунок, схематично изображающая ту или иную ситуацию (рис. 18.3); 2) интерактивная модель-график (рис. 18.10), допускающая изменение параметров системы; 3) анимационная модель, имитирующая изучаемое явление или функционирование устройства (рис. 18.11); 4) видеоклип, в котором пред-

ставлен реальный физический опыт; 5) конструкторская модель некоторого устройства. Кнопки панели управления позволяют перематывать изображение вперед и назад, включить лупу времени, замедляющую протекание изучаемого явления в 1-10 раз, повторить "измерения" и т. д.

Рассмотрим пакет Interactive Physics (русская версия - "Живая физика"). Он представляет собой компьютерную проектную среду с высокой степенью интерактивности, максимально приспособленную для создания учебных моделей механических явлений, которая может эффективно использоваться на занятиях по физике. Эта виртуальная лаборатория позволяет с помощью мыши создавать и исследовать модели разнообразных физических систем, которые находятся в гравитационном, электростатическом или магнитном полях. Программа содержит набор инструментов для создания тел различной формы и связей между ними, измерительных приборов и регуляторов и позволяет "прокрутить" анимацию явления с другой скоростью, визуализировать вектора и т. д.

Возможности использования Interactive Physics расширяются за счет того, что для многих явлений могут быть созданы их механические модели. Например, можно промоделировать падение цилиндра на клин, который с трением перемещается по горизонтальной поверхности (рис. 18.11.1). После падения цилиндра клин скользит по поверхности, при этом строится график зависимости его скорости от времени. Виртуальные лабораторные работы также применяют для изучения основ электродинамики (рис. 18.11.2). Для моделирования электронных схем можно использовать пакет Electronics Workbench, рассмотренный в 14 главе.

Виртуальные лаборатории применяются и при дистанционном обучении. Так, при выполнении заданий интернет-олимпиады "Барсик" [16] ученик должен провести виртуальный эксперимент в режиме онлайн, осуществить серию "измерений" и решить соответствующую задачу. Ученик с помощью "весов" определяет массу "грузов", с помощью "секундомера" измеряет время, рассчитывает ускорение, а результат вычислений отправляет на сервер. В других случаях требуется "измерить" силу тока,

изменить электрическую цепь, рассчитать сопротивление, напряжение, мощность на нагрузке и т. д. Программа оценивает правильность ответа.

Виртуальная реальность используется в различных учебных симуляторах, применяемых при подготовке автоводителей, летчиков (рис. 18.12), а также в компьютерных играх. Для подготовки летчиков применяется симулятор, состоящий из кабины самолета с креслом пилота и приборной доской; кабина установлена на специальных рычагах-опорах, способных изменять ее наклон к горизонту. Вместо иллюминаторов в кабине установлены ЖК-дисплеи, на которые выводится изображение, подобное тому, что видит летчик во время полета. Обучаемый садится в кресло пилота и осуществляет "виртуальный полет", управляя "самолетом" с помощью штурвала, переключателей и кнопок на приборной доске. Компьютер с соответствующим программным обеспечением моделирует движение самолета, реагируя на действия пилота и изменяя изображения на дисплеях, показания всех приборов, наклон кабины.



Рис. 18.12. Симуляторы для обучения водителей и летчиков

18.7. Моделирование интеллекта

Искусственным интеллектом (ИИ) обычно называют аппаратно-программную систему, имитирующую процесс мышления человека. Под

ИИ понимают способности компьютерных систем к таким действиям, которые назывались бы интеллектуальными, если бы исходили от человека [1; 7]. Они обычно связаны с применением эвристических методов решения задач, имеющих высокую степень неопределенности. Объект изучения **искусственного интеллекта** - метапроцедуры, позволяющие человеку или компьютеру решать творческие задачи, которые не имеют жесткого алгоритма. Перечислим основные проблемы ИИ [6, с. 185-187]:

1. **Доказательство теорем**, логический вывод следствий из исходных посылок, получение новых истинных логических выражений, которые не совпадают с исходными. Например, необходимо упростить сложное алгебраическое выражение, найти производную первого, второго или более высокого порядка от сложной функции, получить неопределенный интеграл (первообразную) и т. д. Во всех этих случаях компьютер, пользуясь соответствующими логическими правилами, решает задачу. Примером является пакет MathCAD, позволяющий упрощать математические выражения, брать производные и неопределенные интегралы от сложных функций (рис. 18.13).

2. **Распознавание образов**. "Обучаемому" компьютеру предъявляют множество объектов (цифровых моделей) первого класса $O_1^1, O_2^1, \dots, O_n^1$, второго класса $O_1^2, O_2^2, \dots, O_n^2, \dots$, m -го класса $O_1^m, O_2^m, \dots, O_n^m$, каждый раз сообщая, к какому классу относятся эти объекты. Сверяя реакцию "обучаемого" компьютера с правильным ответом, его "поощряют" или "наказывают". После окончания обучения компьютеру предъявляют объект O , не совпадающий ни с одним из рассмотренных ранее объектов, для того, чтобы компьютер отнес его к какому-то классу.

3. **Создание экспертных систем, специализирующихся на различных областях знаний**. Например, врач вводит в ЭВМ результаты медицинского обследования, наблюдаемые симптомы, возраст, пол и другую информацию о больном. Компьютер обращается к базе знаний и ставит

диагноз, перечисляет возможные болезни, а также рекомендует те или иные медицинские препараты и методы лечения.

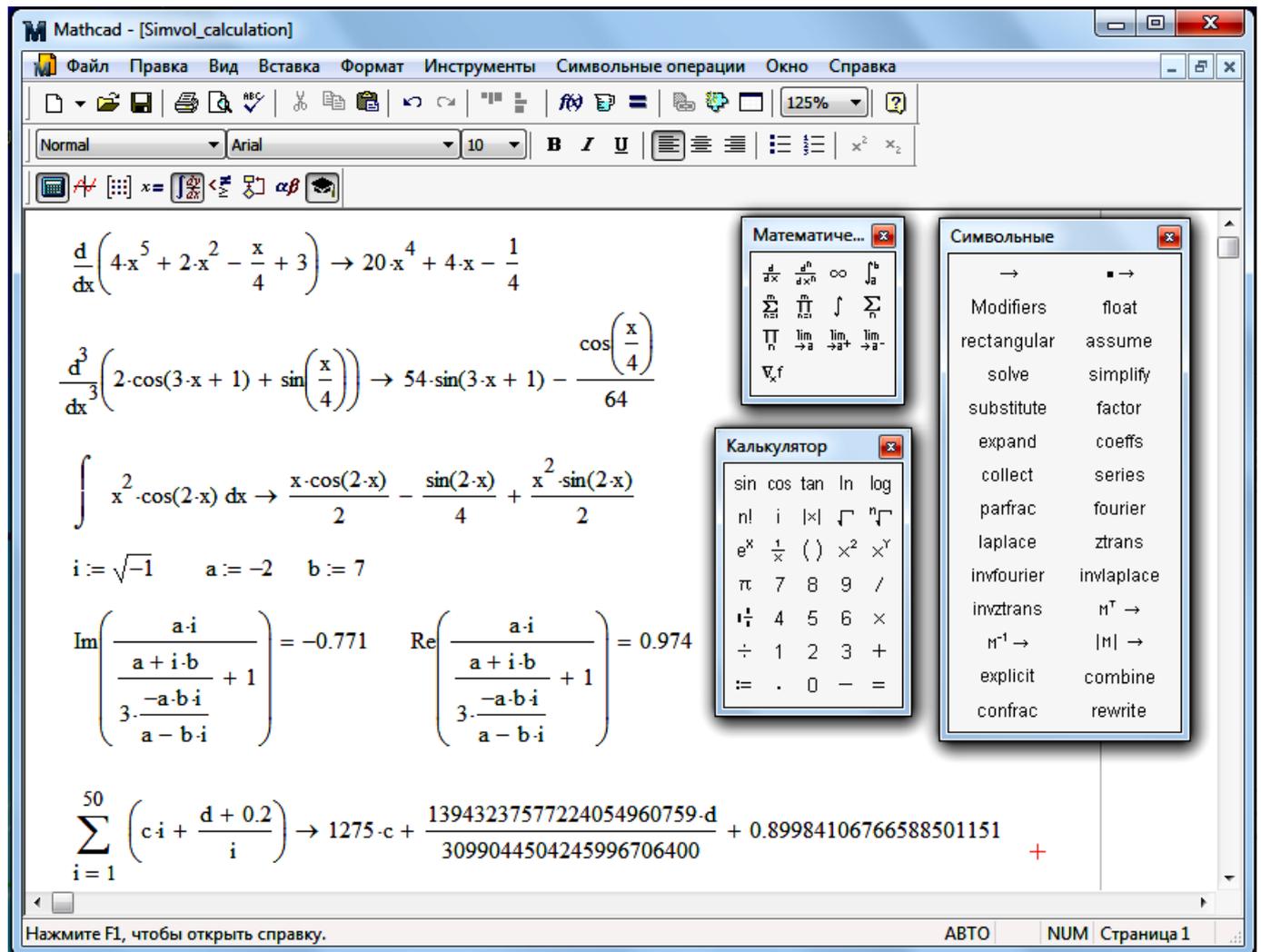


Рис. 18.13. Символические вычисления с помощью системы MathCAD

4. **Робототехника.** Важным направлением является создание роботов - многоцелевых кибернетических систем, способных целенаправленно взаимодействовать с изменяющейся окружающей средой. Робот воспринимает от окружающей среды те же сигналы, что и человек, и при этом выполняет сложные движения и механические операции лучше человека. Существуют роботы-андроиды, внешне похожие на человека.

5. **Коллективное поведение автоматов.** Изучается коллектив из n вероятностных автоматов. Каждый автомат имеет большое число внутренних состояний и способен выполнять набор действий, влияя на среду и

окружающие автоматы. Состояние системы на данном такте определяется состоянием каждого автомата и набором выбранных действий. Индивидуальная цель функционирования i -го автомата состоит в максимизации некоторой целевой функции f_i , соответствующей выигрышу. Глобальная цель заключается в максимизации функции $F(f_1, f_2, \dots, f_n)$.

6. Использование естественного языка. В последнее время развиваются системы распознавания отдельных звуков, слов, фраз, системы, позволяющие получить ответ на вопрос, заданный ЭВМ в устной форме, а также системы автоматического перевода. В будущем компьютер сможет воспринимать речь человека и отвечать на вопросы, поддерживая разговор на заданную тему.

7. Инженерия знаний. Это научное направление о способах представления знаний в вычислительных системах и методах работы с ними.

8. Машинные игры. Способность ЭВМ быстро перебирать различные варианты, анализировать ситуации и просчитывать ходы позволяет использовать ее в качестве одного из игроков в интеллектуальных играх. Современные ЭВМ создают виртуальную реальность, моделирующую ту или иную ситуацию, что делает возможным разработку различных игр: стратегий, симуляторов, квестов и т. д.

18.8. Моделирование с помощью аналоговой ВМ

Аналоговое моделирование - это математическое моделирование систем, при котором информация представляется в непрерывной форме, например, в виде плавно изменяющихся напряжений. Пусть необходимо разработать метод быстрого решения уравнения $a = \exp(-bx)$ без использования таблиц и ЦЭВМ. Возьмем конденсатор емкостью C , зарядим его до напряжения U и будем разряжать через резистор R , причем подберем R и C так, чтобы $b = 1/RC$. Тогда время t , в течение которого конденсатор разрядится до напряжения aU , и будет равно искомому x .

Или другая задача. Необходимо решить систему из трех линейных алгебраических уравнений $a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 = d_i$, $i = 1, 2, 3$. Любой системе уравнений соответствует электрическая цепь. В данном случае эта цепь будет содержать три ветви, текущие по ним токи - и есть неизвестные x_1 , x_2 , x_3 . Подберем ЭДС источников и сопротивления ветвей требуемым образом. Достаточно измерить токи в ветвях - и ответ найден!

Рассмотренные примеры поясняют общие принципы функционирования **аналоговой вычислительной машины**, которая используется для обработки информации, представленной в аналоговой (непрерывной) форме. При этом каждой математической переменной величине, входящей в решаемую систему уравнений, ставится в соответствие машинная переменная (линейная или угловая координата, давление газа или жидкости, сила тока, напряжение). Над машинными переменными осуществляются математические операции с помощью решающих элементов, работающих по известным физическим законам.

Различают механические, гидравлические, пневматические, электромеханические, электронные АВМ. К первым аналоговым вычислительным машинам относят логарифмическую линейку (1620 г.), механический интегратор Дж.-Дж.Томсона (1876 г.), позже появились электронные АВМ или АЭВМ (1949 г.). Конструктивно электронные АВМ состоят из: 1) отдельных блоков на операционных усилителях (сумматоров, дифференциаторов, интеграторов и т. д.), выполняющих определенные математические операции; 2) коммутационного поля; 3) измерительной и регистрирующей аппаратуры. **Коммутационное поле** представляет собой совокупность разъемов, соединенных с входами и выходами решающих элементов, которые замыкают проводниками, собирая соответствующую схему АВМ.

Методика моделирования на АВМ включает в себя следующие этапы: 1) постановка математической задачи; 2) приведение уравнений к виду, удобному для решения на АВМ; 3) составление структурной схемы из

решающих устройство АВМ; 4) масштабирование переменных, то есть расчет масштабных коэффициентов, позволяющих перейти от математических переменных, входящих в систему уравнений, к соответствующим машинным переменным; 5) вычисление параметров схемы (сопротивления, емкости), параметров нелинейных элементов; 6) коммутация блоков АВМ в соответствии со структурной схемой; 7) настройка АВМ и решение задачи при различных параметрах модели и входных сигналах; 8) фиксация решения с помощью самописца или осциллографа в виде функции от времени.

К АВМ также относят устройства, в которых один объект моделируется другим, например, электростатическое или постоянное магнитное поле моделируется стационарным электрическим полем в жидкой среде, или на электропроводной бумаге. Для решения уравнения в частных производных используются сеточные АВМ. При этом область, внутри которой ищут решение, разбивается на элементарные объемы, строится сетка. Каждый элементарный объем заменяется электрической схемой замещения из R , L , C -элементов. На отдельные точки получившейся цепи подаются напряжения, соответствующие краевым условиям задачи. С помощью измерительных приборов определяются значения напряжения в тех или иных узлах сетки, после чего осуществляют переход от машинных переменных к математическим переменным решаемой задачи.

К достоинствам АВМ относят высокое быстродействие, низкую стоимость, возможность решения задачи в режиме реального времени. Недостатком является довольно высокая погрешность, которая в то же время сопоставима с погрешностью измеряемых величин.

18.9. Другие применения компьютерных моделей

В настоящее время трудно найти область человеческой деятельности, в которой не использовались бы компьютерные симуляции. Увели-

чение общей производительности вычислительных систем привело к тому, что компьютерные модели применяются для решения разнообразных задач, начиная от моделирования формы ногтей и причесок и заканчивая предсказанием погоды, расчетом движения комет и астероидов, прогнозом развития человеческой цивилизации. Например, сотрудники Гугл на основе спутниковых фотографий с большим разрешением создали интерактивную модель Земной поверхности Google Earth [17]. Теперь с помощью мыши и панели навигации можно перенестись почти в любую точку земной поверхности и приблизить изображение так, что различимы города, улицы и даже отдельные дома и автомашины (рис. 18.14). Доступ к модели осуществляется по Интернету. Также созданы интерактивные карты Луны, Марса, 3D-модели Солнечной системы, звездного неба, Вселенной. Эти модели позволяют, исходя из времени наблюдения и местоположения наблюдателя, рассчитать положение каждой планеты (галактики, туманности) на небесной сфере и определить вид звездного неба.

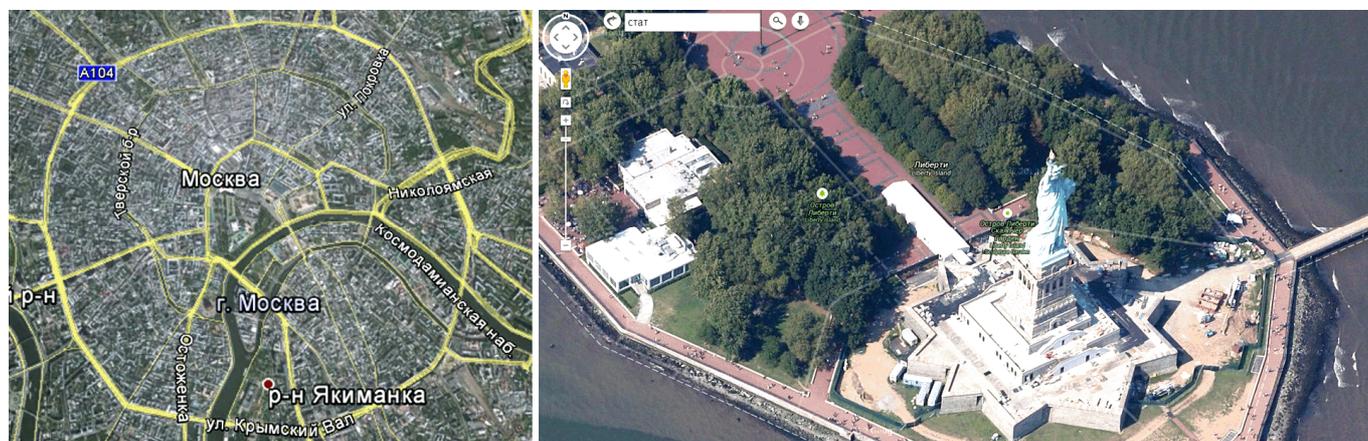


Рис. 18.14. Интерактивная карта поверхности Земли [17]

Другим направлением компьютерного моделирования является создание **роботов** (рис. 18.15), моделирующих поведение человека и животных [20]. Робот состоит из блоков управления, восприятия и исполнительного механизма. **Блок восприятия** содержит механические, тактильные, оптические, температурные и иные датчики, контролирующие со-

стояние окружающей среды. **Блок исполнительного механизма** включает в себя средства перемещения робота (тележка с двигателями) и средства манипулирования объектом (рука-манипулятор). **Блок управления** вырабатывает сигналы, управляющие работой исполнительного механизма. Он содержит ЭВМ, которая обрабатывает сигналы, поступающие от блока восприятия, сигналы обратной связи от блока исполнительного механизма, и обменивается информацией с оператором. Оператор, получая видеоинформацию о месте, где находится робот, отдает команды, управляющие его действиями. Если оператор отсутствует, то робот функционирует автономно. Роботы используются в промышленности для комплексной автоматизации производства, в космонавтике для пилотирования космических аппаратов, в глубоководных исследованиях и т. д.

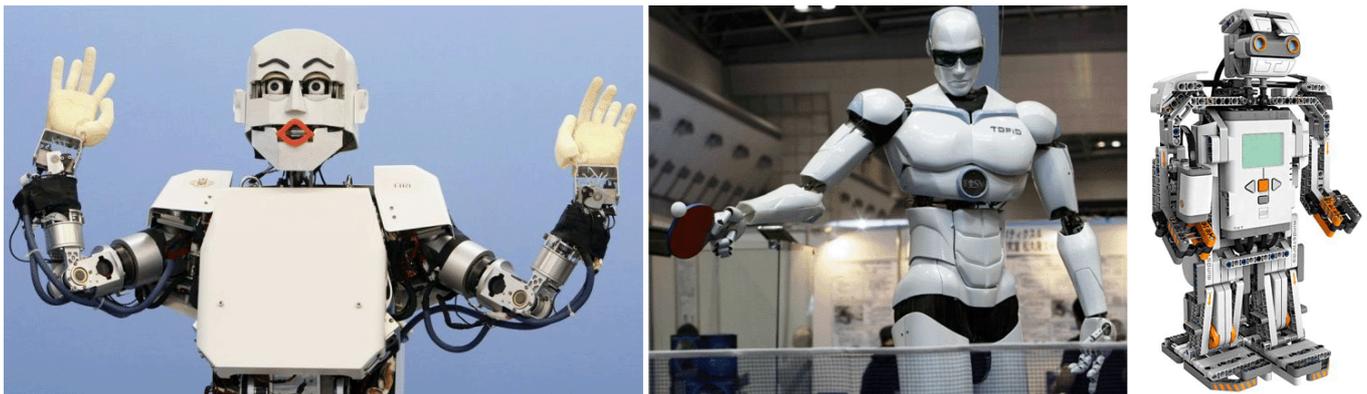


Рис. 18.15. Роботы андройды, моделирующие человека [19]

Компания Lego разработала конструктор роботов Lego Mindstorms из более 600 деталей [18]. С его помощью можно собрать интеллектуального робота, состоящего из встроенного микрокомпьютера, к которому подключено разнообразное периферийное оборудование: датчики прикосновения, реагирующие на сенсорные воздействия, датчик света, различающий цвета и градации серого, микрофон, воспринимающий звуковые сигналы, ультразвуковой дальномер, позволяющий определять расстояние до препятствия. Кроме того, робот имеет три двигателя со встроенными

датчиками поворота и Bluetooth-модуль, позволяющий управлять роботом с помощью мобильного телефона или компьютера.

Всемирно известный разработчик человекоподобных **роботов-андроидов** Хироси Исигуро (Япония) создал собственного двойника-робота, который может читать лекции студентам. Также им были созданы робот-андроид Otonaroid (Adultroid), имеющий вид женщины и способный отвечать на реплики, разговаривать на общие темы. Андроид Kodomoroid (Childroid) выглядит как ребенок и может вести телепрограмму новостей.

Приложение к главе 18

В приложении представлены тексты программ, которые позволяют глубже понять рассмотренные вопросы. Они написаны в средах Borland Pascal 7.0 и Free Pascal 1.0.10.

Программа ПР-1

```

program Vrash_parallelepiped; {$N+}
uses crt, graph; const dt=0.1; pi=3.1415;
var v,v2: array[1..8,1..3]of single;
xp,yp :array[1..8]of real;
Gd,Gm,i,j,S,K,l,m : integer;
t,xc,yc,zc,fi,psi,a1,a2,a3: real;
Procedure Lin(l,m:integer);
begin Line(50+round(xp[l]),400-round(yp[l]),
50+round(xp[m]),400-round(yp[m])); end;
Procedure Raschet;
begin xc:=(v[1,1]+v[7,1])/2; {koordinati centra}
yc:=(v[1,2]+v[7,2])/2; zc:=(v[1,3]+v[7,3])/2;
For i:=1 to 8 do {perenos}
begin v2[i,1]:=v[i,1]-xc;
v2[i,2]:=v[i,2]-yc; v2[i,3]:=v[i,3]-zc; end;
For i:=1 to 8 do begin v[i,1]:=v2[i,1]; {povorot}
v[i,2]:=v2[i,2]*cos(fi)+v2[i,3]*sin(fi);

```

```

v[i,3]:=-v2[i,2]*sin(fi)+v2[i,3]*cos(fi); end;
For i:=1 to 8 do begin a2:=v[i,2];          {povorot}
a1:=v[i,1]*cos(psi)-v[i,3]*sin(psi);
a3:=v[i,1]*sin(psi)+v[i,3]*cos(psi);
v[i,1]:=a1; v[i,2]:=a2; v[i,3]:=a3; end;
For i:=1 to 8 do begin v[i,3]:=v[i,3]+zc;
v[i,1]:=v[i,1]+xc+0.4*dt;          {perenos}
v[i,2]:=v[i,2]+yc+0.2*dt; end; end;
Procedure Postroenie;
begin For i:=1 to 8 do begin
xp[i]:=v[i,1]+v[i,3]/2*cos(1.5*pi/2);
yp[i]:=v[i,2]-v[i,3]/2*sin(1.5*pi/2); end;
Lin(1,2); Lin(2,3); Lin(3,4); Lin(4,1);
Lin(5,6); Lin(6,7); Lin(7,8); Lin(8,5);
Lin(1,5); Lin(2,6); Lin(3,7); Lin(4,8); end;
BEGIN Gd:=Detect; InitGraph(Gd, Gm, 'c:\bp\bgi');
v[1,1]:=0; v[1,2]:=0; v[1,3]:=0; v[2,1]:=60; v[2,2]:=0;
v[2,3]:=0; v[3,1]:=60; v[3,2]:=30; v[3,3]:=0; v[4,1]:=0;
v[4,2]:=30; v[4,3]:=0; v[5,1]:=0; v[5,2]:=0; v[5,3]:=40;
v[6,1]:=60; v[6,2]:=0; v[6,3]:=40; v[7,1]:=60; v[7,2]:=30;
v[7,3]:=40; v[8,1]:=0; v[8,2]:=30; v[8,3]:=40;
Repeat t:=t+dt; delay(5);
If t<100 then fi:=0.02 else psi:=0.03;
If t>200 then fi:=0;
Raschet; cleardevice; Postroenie;
until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Программа ПР-2

```

program Trehmernaya_kartina; {$N+}
uses crt, graph; const dt=0.1; pi=3.1415;
var v,v2: array[1..8,1..3]of single;
xp,yp :array[1..8]of real;
Gd,Gm,i,j,S,K,l,m : integer;
t,xc,yc,zc,fi,psi,a1,a2,a3: real;
Procedure Lin(l,m:integer);
begin Line(260+round(xp[l]),280-round(yp[l]),
260+round(xp[m]),280-round(yp[m])); end;
Procedure Raschet;

```

```

begin For i:=1 to 8 do begin a2:=v[i,2]; {поворот}
a1:=v[i,1]*cos(psi)-v[i,3]*sin(psi);
a3:=v[i,1]*sin(psi)+v[i,3]*cos(psi);
v[i,1]:=a1; v[i,2]:=a2; v[i,3]:=a3; end; end;
Procedure Postroenie;
begin For i:=1 to 8 do begin
xp[i]:=v[i,1]+v[i,3]/2*cos(1.5*pi/2);
yp[i]:=v[i,2]-v[i,3]/2*sin(1.5*pi/2); end;
Lin(1,2); Lin(2,3); Lin(3,4); Lin(4,1);
Lin(5,6); Lin(6,7); {Lin(7,8);} Lin(8,5);
Lin(1,5); Lin(2,6); {Lin(3,7);} Lin(4,8);
Lin(1,8); Lin(4,5); Lin(2,4); Lin(1,3);
circle(260+round(xp[7]),280-round(yp[7]),5); end;
BEGIN Gd:=Detect; InitGraph(Gd, Gm, 'c:\bp\bgi');
v[1,1]:=0; v[1,2]:=0; v[1,3]:=0; v[2,1]:=460; v[2,2]:=0;
v[2,3]:=0; v[3,1]:=460; v[3,2]:=230; v[3,3]:=0; v[4,1]:=0;
v[4,2]:=200; v[4,3]:=0; v[5,1]:=0; v[5,2]:=0; v[5,3]:=240;
v[6,1]:=460; v[6,2]:=0; v[6,3]:=240;v[7,1]:=460;v[7,2]:=80;
v[7,3]:=240; v[8,1]:=0; v[8,2]:=230; v[8,3]:=240;
Repeat t:=t+dt; delay(50);
If t<2.2 then psi:=0.03 else psi:=0.009*cos(t*5);
{psi:=0.005;} Raschet; cleardevice; Postroenie;
until KeyPressed; CloseGraph;
END.

```

Список литературы

1. Боровская Е. В., Давыдова Н. А. Основы искусственного интеллекта: учеб. пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. 127 с.
2. Волхин К. А. Основы компьютерной графики: электронное учеб. пособие. URL: http://ng.sibstrin.ru/wolchin/umm/l_kg/kg/index.htm
3. Залогова Л. А. Компьютерная графика. Элективный курс: учеб. пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. 212 с.

4. Информатика. Задачник-практикум: в 2 т. / под ред. И. Г. Семакина, Е. К. Хеннера. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. Т. 1. 304 с.
5. Никулин Е. А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 560 с.
6. Майер Р. В. Как стать компьютерным гением или книга о информационных системах и технологиях. Глазов: Глазов. гос. пед ин-т, 2008. 204 с.
7. Могилев А. В., Пак Н. И., Хеннер Е. К. Информатика: учеб. пособие для студ. пед. вузов. М.: Издательский центр "Академия", 2003. 816 с.
8. Морозов М. Н. Что дальше вебинаров? // ВебинарингPRO. 2013. № 6. С. 31-34. URL: <http://mmlab.ru>
9. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. М.: Мир, 1989. 512 с.
10. Угринович Н. Д. Исследование информационных моделей. Элективный курс: учеб. пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. 183 с.
11. <http://komar.net.ru/uploads/posts/2012-07/dpfktqxbp2.jpg> - Blender.
12. <http://www.hwp.ru/tags/freeware> - пакет 3D Canvas.
13. <http://www.autodesk.ru/products/3ds-max/overview>, <http://www.the3dstudio.com> - пакет 3D Studio MAX.
14. <http://secondlife.com> или www.secondlife.ru - Second Life.
15. <http://vacademia.com> - Виртуальная академия.
16. http://barsic.spbu.ru/www/lab_dhtm или distolymp2.spbu.ru/olymp/ - Интернет-олимпиада "Барсик".
17. <http://spacegid.com/bolshe-chem-prosto-globus.html> - интерактивная карта Земли.
18. <http://www.mindstorms.ru/mindstorms.php> - конструктор роботов Lego.
19. <http://trinixy.ru/43536-roboty-101-foto.html> - фото андроидов.
20. <http://ru.wikipedia.org> - Википедия.

[ВВЕРХ](#)