

Иванов Всеволод Борисович

УЧЕБНЫЙ КУРС КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ – ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ И ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ

Аннотация

В статье автор описывает курс по компьютерному моделированию, поставленный им на физическом и математическом факультетах Иркутского государственного университета. Ранее такого курса в университете не было, а материал был разбит между другими курсами.

Ключевые слова: модель, компьютерное моделирование, инструментальные средства, численные методы.

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Компьютерное моделирование» в настоящее время де-факто признана обязательной, по крайней мере, для студентов естественных и технических специальностей вузов. В то же время в связи с относительной «молодостью» этой дисциплины на данный момент не существует какой-либо общепринятой программы соответствующего курса, рекомендованной министерством образования или его учебно-методическими подразделениями. Отчасти это связано, по-видимому, с действительно существующей необходимостью дифференциации таких курсов в соответствии со специальностями и специализациями. Однако существует и круг общих вопросов, относящихся к преподаванию компьютерного моделирования, которые целесообразно обсудить в среде вузовской общности.

При этом следует отметить, что как таковой курс «Компьютерное моделирование»

читался автором только в самое последнее время. Ранее элементы этого курса только внедрялись в другие программы, в соответствии с государственными образовательными стандартами. Без сомнения, такое дробление не соответствовало актуальной потребности в едином курсе.

ПРЕДМЕТ И ОБЪЕКТ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Прежде всего, студентов необходимо осведомить о терминологии изучаемой отрасли знаний. Что касается самого слова **МОДЕЛЬ**, то здесь в полной мере уместно классическое толкование, которое нами формулируется следующим образом. Модель явления, процесса – это **ПРИБЛИЖЕННОЕ** описание **НЕКОТОРЫХ** свойств, параметров, характеристик соответствующего объекта. При этом выделенные слова «приближенное» и «некоторых» имеют здесь принципиальное значение, которое определяет всю концепцию компьютерного моделирования. Это должно быть подчеркнуто и проиллюстрировано преподавателем на кон-

© В.Б. Иванов, 2009

кретных примерах. Например, удачной иллюстрацией является последовательность: игрушечная модель самолета (отображение в масштабе только внешнего вида), действующая модель самолета (отображение функционального назначения), модель самолета для испытаний в аэродинамической установке (отображение динамических свойств аппарата). Имеет смысл остановиться на термине МОДЕЛЬ применительно к человеку – фотомодель, модель для демонстрации одежды. Следует указать на то, что здесь термин МОДЕЛЬ отношения к объекту нашего рассмотрения не имеет.

Далее автор (не претендуя на какие-либо приоритеты) рискнет взять на себя смелость разделить процесс моделирования на три этапа.

Первый этап может быть назван этапом предметного моделирования. Здесь в словесной форме формулируются основные законы, правила, приближения, в соответствии с которыми рассматривается поведение моделируемого объекта. Наглядным примером является иллюстрация моделирования движения тела, брошенного под углом к горизонту. Основным законом, управляющим процессом в данном случае, является второй закон Ньютона. Приближением является приближение однородного в пространстве поля тяжести. Та или иная детализация определяется, например, учетом или неучетом сопротивления воздуха. Близким по содержанию является моделирование движения спутника вокруг Земли. Здесь базовым для разработки модели является закон всемирного тяготения. В этих примерах целями моделирования могут быть траектория движения тела, максимальная дальность бросания и другие подобные параметры и характеристики.

Весьма показательным для данного этапа является пример с моделированием процесса роста вклада, помещенного в банк. Можно предложить студентам рассмотреть три предметных модели. Первая из них совершенно не реалистична, но поучительна. Словесное описание выглядит так: скорость прироста суммы вклада постоянна и ни от чего не зависит. То есть, независимо от того,

помещен ли в банк вклад в 100 рублей или 1000000, прирост составляет 20 рублей в месяц. Вторая модель более разумна, но, конечно, практически не применяется. В этом варианте скорость прироста суммы также постоянна, но определяется (пропорциональна) величине начального вклада. Наконец, третья предметная модель, используемая в «настоящей» банковской системе, основана на концепции сложных процентов. Словесное описание может быть дано в следующем виде: скорость увеличения суммы вклада на заданном (надо, пожалуй, подчеркнуть, коротком) промежутке времени пропорциональна величине суммы вклада в начале этого промежутка времени. Можно отметить, что такая предметная модель присуща и многим природным процессам: рост числа заболевших на начальном этапе эпидемий, ядерный распад радиоактивных элементов.

Вторым этапом является этап математического моделирования. Здесь предметная модель должна получить свое количественное описание. Приведенные выше примеры наглядно показывают, как это может быть сделано. Легко видеть, что «наивные» банковские модели сводятся в своем численном описании к простейшей алгебраической формуле, описывающей линейную зависимость суммы вклада от времени. Очевидно, что на этом весь процесс моделирования заканчивается, поскольку цель моделирования – расчет суммы вклада на заданный момент времени – может быть достигнута выполнением простейших вычислений «в уме» или на бумаге. Для реальной банковской модели ситуация несколько сложнее. Известно, что рассматриваемый процесс описывается обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка. Решение этого уравнения известно и описывается показательной функцией времени. Таким образом, математическую модель здесь можно рассматривать как сформулированную и сразу реализованную в виде элементарной функции. Однако, в отличие от предыдущих моделей, численный расчет здесь ни «в голове» ни на бумаге в общем случае выполнить не удастся. Вот здесь и

потребуется третий этап моделирования. Что касается представленных выше моделей из области механики, то здесь математические описания могут быть даны в виде систем обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка. Для тела, брошенного под углом к горизонту, при некоторых приближениях эта система все еще может быть решена аналитически – решение представляется элементарными функциями. Однако, такая «удача» – скорее исключение, чем правило. Уже для модели спутника, вращающегося вокруг Земли, аналитическое решение напрямую не формулируется. В этом и подобных случаях возникает потребность в применении методов компьютерного моделирования.

Итак, третий этап – собственно этап компьютерного моделирования. На этом этапе к решению поставленных задач привлекаются средства вычислительной техники. Первая задача здесь – выполнение математических вычислений. В простейших случаях это расчеты по более или менее сложным формулам. В более часто встречающихся ситуациях приходится прибегать к решению трансцендентных алгебраических, дифференциальных, интегральных уравнений. Иногда вычисления могут быть выполнены всего лишь на карманных калькуляторах, но в данном случае различий между калькулятором и компьютером нет. Вторая задача, которую призван решать третий этап – удобное отображение результатов моделирования. Вот здесь необходим именно компьютер под управлением современной операционной системы, снабженный современным прикладным и специализированным программным обеспечением. Конечно же, наряду с получением результатов моделирования в виде некоторых числовых данных, желательно отобразить эти результаты в виде графиков. При представлении результатов общественности целесообразно также использовать презентации и анимационные клипы. Таким образом, компьютерное моделирование является важным, заключительным, хотя и не всегда необходимым этапом.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Наиболее трудоемким в компьютерном моделировании является формулировка и вычислительная реализация математической модели. Именно объемом вычислений и качеством представления полученных результатов определяются требования к инструментарию для проведения моделирования. Несомненно, наиболее универсальными средствами здесь могут выступать системы программирования на языках высокого уровня, например, Borland C++ Builder, Borland Delphi, Microsoft Visual Studio. Здесь могут быть реализованы, причем весьма эффективно, сколь угодно сложные вычислительные алгоритмы. Наличие визуальных компонентов программирования дает возможность и наглядного графического представления моделей. Однако, все здесь необходимо разрабатывать «вручную», начиная от программирования тех или иных вычислительных схем и заканчивая созданием анимаций. Очевидно, что при этом требуется достаточно высокая подготовленность разработчика как программиста, чего трудно ожидать от рядового студента. Применение специализированных библиотек (например, Boost) только в небольшой степени упрощает задачи – сами библиотеки также приходится детально изучать и учиться с ними работать. В какой-то мере освободить разработчика от сугубо вычислительных задач удастся с использованием программных пакетов с языками сверхвысокого уровня: Mathematica, Matlab, MathCAD и других подобных. Однако, как показал опыт работы со студентами в этом направлении, само изучение этих пакетов требует больших трудозатрат и довольно большого времени. Кроме того, «сокрытие» от разработчика деталей вычислительных схем, как это имеет место в языках сверхвысокого уровня, далеко не всегда целесообразно.

Таким образом, имеется потребность использования при моделировании каких-то специализированных средств, которые были бы ориентированы именно на реализацию третьего этапа. К счастью, такие па-

кеты на данный момент существуют и даже в некотором «ассортименте». Укажем, в частности, на отечественные разработки Model Vision Studio (MVS) – разработка Санкт-Петербургского государственного технического университета, Stratum 2000 – разработка Пермского государственного технического университета и систему MODELLUS, с которыми автор подробно ознакомился и подготовил специальное учебное пособие [1].

Сравнительный анализ упомянутых пакетов показал, что, по нашему мнению, наиболее мощным (обеспечивающим наибольшие возможности) является система MVS. В то же время методика работы с этим инструментом достаточно сложна и требует специального обучения. В этой связи в плане учебного процесса в ВУЗах пакет Model Vision Studio может рекомендоваться студентам именно специализирующимся в области компьютерного моделирования. Stratum 2000, на наш взгляд, более прост в использовании, но и несколько уступает по своим возможностям MVS. Кроме того, Stratum по каким-то причинам не получил широкого распространения. Оптимальным для широкого использования в начальном обучении студентов компьютерному моделированию автор считает программу MODELLUS. Первый опыт его использования был описан уже несколько лет назад [2].

Главными достоинствами пакета MODELLUS являются простота использования и отлично организованная система графического и анимационного отображения моделей. По сути дела вся работа программы заключается в циклическом выполнении группы операций в одном из двух режимов – итерационном и не итерационном. В первом из них задается только количество выполняемых циклов, а все необходимое программируется пользователем. Во втором режиме полагается, что моделируемый процесс разворачивается во времени так, что изменяется независимая переменная «время». Задается начальное и конечное значение времени и временной шаг. При этом в пакет встроен алгоритм численного

решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений в постановке задачи Коши (начальной задачи). Предусмотрена также возможность оперирования с производными по времени в правых частях выражений присваивания. Пакет снабжен достаточно широким ассортиментом математических функций, минимальной, но достаточно системой условных и логических выражений. Имеется возможность создания многовариантных моделей, отличающихся друг от друга набором входных параметров или начальных условий (при интегрировании дифференциальных уравнений). Результаты моделирования представляются в числовом виде (таблицами), в удобном и наглядном графическом формате и с использованием анимационных клипов с применением разнообразных анимационных инструментов. В частности, при использовании анимации можно в анимационном окне разместить управляющие элементы, позволяющие непосредственно во время выполнения модели менять ее параметры. Транслятор языка MODELLUS является интерпретатором, так что какие-либо исполняемые файлы здесь не создаются, и модели выполняются именно в среде пакета. Тем не менее, поскольку результаты представляются обычными графическими окнами, они могут быть легко интегрированы в другие windows-приложения. В настоящее время существуют как коммерческие, так и свободно распространяемые (с некоторыми минимальными ограничениями) версии программы. Актуальной является версия MODELLUS 4.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО КУРСА

Для успешного освоения дисциплины студенты должны быть к моменту выполнения программы подготовлены по информатике (в первую очередь по программированию) и математике в объеме соответствующих Государственных стандартов для естественных и технических специальностей. В этой связи представляется целесообразным проведение курса в пятом – шестом учебных семестрах. Ориентировочный

объем курса составляет 90 часов с соотношением лекционной и практической частей 1:2. Курс содержит следующие основные разделы:

Численные методы. Излагаются простейшие алгоритмы решения трансцендентных уравнений – метод половинного деления и метод хорд. Отмечается большая эффективность последнего по сравнению с первым.

Рассматриваются простые методы вычисления определенных интегралов. Для интегралов без особенностей используются метод трапеций и метод Симпсона. Для вычисления сходящихся несобственных интегралов предлагается метод Гаусса.

Особое внимание уделяется методам численного интегрирования дифференциальных уравнений. Для задачи Коши рассматриваются простейшие схемы решения – схема Эйлера, неявная схема. В качестве рабочего инструмента используется метод Рунге – Кутты. Излагается методика решения систем уравнений первого порядка и сведение уравнений высших порядков к системам уравнений. Дается понятие устойчивости вычислительных схем. Рассматривается задача с краевыми условиями (на примерах уравнений второго порядка). Для линейных краевых задач представляется метод прогонки.

Представляется полезным познакомить студентов с основами использования в численных расчетах метода Монте-Карло. В качестве примеров предлагается расчет надежности систем с помощью статистических испытаний. Также иллюстрируются возможности метода применительно к вычислению кратных определенных интегралов, решению оптимизационных задач.

Моделирование в системе MODELLUS. Первоначально выполняется обучение работе в пакете в режиме расширенного калькулятора. Здесь осваивается создание моделей посредством написания программ. Изучается итерационный и неитерационный режим, многовариантные модели, табличное представление результатов. Рассматривается применение условных выражений.

Далее осваиваются графические возможности пакета MODELLUS. На этом этапе уже разрабатываются простые компьютер-

ные модели процессов. В частности, представляется полезным графическое построение фигур Лиссажу – моделирование реально получаемых фигур на электронном осциллографе. Интересным и наглядным является моделирование в графике явления биений колебаний.

Как уже указывалось, богатейшие возможности наглядного представления результатов моделирования предоставляются в пакете MODELLUS средствами анимации. Отличной иллюстрацией здесь является анимация модели движения тела в центральном гравитационном поле – движение спутника по околоземной орбите или Земли вокруг Солнца. Кроме того, что здесь есть возможность очень красочно представить саму картину движения, можно наглядно отображать векторы скоростей и сил, действующих на тело, саму траекторию движения.

Моделирование с использованием языков высокого уровня. Несмотря на все перечисленные достоинства пакета MODELLUS, его возможности все же ограничены. Так, например, в пакете принципиально невозможно строить модели, базирующиеся на решении дифференциальных уравнений с краевыми условиями, дифференциальных уравнений в частных производных. Следует отметить, что и специализированные системы сверхвысокого уровня, такие как MATHEMATICA, MATLAB и другие, также ограничены в таких возможностях. В этой связи представляется совершенно необходимым включить в курс компьютерного моделирования работу с языками высокого уровня C/C++ (наиболее предпочтительно, исходя из общих соображений), JAVA (в основе которой, опять же, лежит C++), Pascal, Basic. При этом необходимо использовать системы, предоставляющие возможность графического отображения информации. В описываемом курсе автор рекомендует студентам работать в системе Borland C++ Builder.

Здесь, во-первых, предлагается реализовать некоторые модели, которые создавались и в MODELLUS. Например, на основе собственной разработки алгоритма ин-

тегрирования систем дифференциальных уравнений с начальными условиями (метод Рунге-Кутты) предлагается промоделировать поведение во времени странных аттракторов. Студенты понимают насколько облегчается моделирование при использовании MODELLUS по сравнению с разработкой всего «с нуля», разумеется, там, где это возможно. Во-вторых, полезным представляется

предложить студентам разработку моделей на основе метода прогонки для краевых задач. В качестве «физического наполнения» таких задач могут быть предложены различные реальные объекты, в частности, стационарные распределения плотностей или температур в явлениях диффузии, теплопроводности. Конкретные примеры предлагаются автором в учебном пособии [1].

Литература

1. В.Б. Иванов. Компьютерное моделирование и программирование. Иркутск: Изд. ИГУ, 2003.
2. В.Б. Иванов. Опыт использования пакета MODELLUS // Компьютерные инструменты в образовании, 2000. № 3–4. С. 53.

Abstract

The article describes author's experience on teaching methods of computer simulations. This course was held on mathematical and physical faculties of Irkutsk State university. There was not such course before and course's materials were distributed between other courses.



Наши авторы, 2009.
Our authors, 2009.

*Иванов Всеволод Борисович,
доктор физико-математических
наук, профессор кафедры
радиофизики Иркутского
государственного университета,
ivb@ivb.baikal.ru*