

ОБ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ «БИЗНЕС-ИНФОРМАТИКА» МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМ

НАУМОВ В. Н.

доктор военных наук

Санкт-Петербург (Россия)

Образовательные стандарты высшего профессионального образования третьего поколения предъявляют требования к уровню образованности, определяют общекультурные и профессиональные компетенции, обеспечивающие возможность выпускника работать в современном информационном обществе. Так, к компетенциям, которые определены стандартами по направлению «бизнес-информатика» относятся: способность использовать для решения задач современные технические средства и информационные технологии; способность применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования систем; наличие навыков работы с компьютером как средством управления информацией и др. Выпускник должен знать методологию построения моделей сложных систем, владеть теорией систем и методами системного анализа, методами статистического анализа и прогнозирования случайных процессов. Данные компетенции направлены на формирование у выпускника математической и информационной культуры.

С целью формирования данных компетенций необходимо определить требования к создаваемым моделям и к средствам их построения, содержание учебных дисциплин, предназначенных для их формирования.

Требования к моделям и средствам их построения. При рассмотрении прикладных задач моделирования экономических, хозяйственных систем, бизнес-процессов сталкиваются с проблемой их размерности. В реальной ситуации моделируемые системы являются сложными и должны исследоваться методами системного анализа, которые основываются на двух последовательных процессах: декомпозиции на подсистемы с целью их анализа и последующей композиции полученных результатов. Следовательно, основными принципами моделирования сложных систем являются:

- ✦ принцип решения сложных проблем путем их разбиения на множество меньших независимых задач, легких для понимания и моделирования;
- ✦ принцип иерархического упорядочивания – принцип организации составных частей проблемы в иерархические древовидные структуры с добавлением новых деталей на каждом уровне иерархии.

Данные положения определяют следующие требования к моделям сложных социально-экономических

систем, информационных систем и средствам, их реализующим:

1. Так как внутрикомпонентная связь в системе обычно сильнее, чем связь между компонентами, то ее модель должна объединять ранее созданные модели подсистем. С целью обобщимости модели число подсистем и связей в модели на каждом уровне должно быть невелико, однако общее число подсистем велико. Это определяет иерархическую структуру модели. Используемые инструментальные средства должны обеспечить построение такой иерархии.

2. Иерархическая структура модели определяет необходимость предварительного описания модели на языке промежуточной формализации. Таким образом, модель системы должна содержать некоторое число взаимосвязанных представлений, каждое из которых адекватно отражает только некоторый аспект поведения или структуры системы. Данные аспекты должны отражать концептуальный, математический и физический уровни моделирования, наличие статической и динамической составляющей модели. Каждое такое представление должно рассматриваться на своем языке формализации. Средства построения модели должны позволять использовать различные языки, в том числе и графические. Это соответствует определению сложной системы, как системы, для описания которой недостаточно одного языка формализации.

3. Многомодельность системы определяет необходимость определения этапов жизненного цикла модели, начиная с этапа планирования и проектирования и завершая этапом тестирования и верификации модели. Это обстоятельство определяет необходимость рассмотреть модель как проект и при создании модели использовать теорию и средства управления проектами, в частности CASE-технологии и CASE-средства.

4. Входные и выходные переменные должны быть в общем случае векторными. С учетом случайности моделируемых процессов вход и выход модели представляют собой системы (векторы) случайных величин. В состав модели должны быть включены системы уравнений (алгебраические и дифференциальные). Средства построения модели должны содержать вычислительные компоненты, позволяющие автоматизировать вычисления, решать системы уравнений, содержащих характеристики случайных величин.

5. Время должно входить в состав любой социально-экономической модели в качестве независимой переменной. Все модели должны быть динамическими с дискретным, связанным с событиями или с непрерывным временем, что соответствует различным парадигмам моделирования. Модель должна анализировать устойчивые и неустойчивые состояния экономической системы. Средства моделирования должны быть инте-

гированными и включать в своем составе несколько парадигм.

Указанные требования ограничивают применимость для моделирования сложных систем аналитических моделей и определяют необходимость использования имитационного моделирования, как метода «последней надежды». Именно поэтому в учебнике «Моделирование систем» [5] при рассмотрении вопросов моделирования систем, в основном, рассматриваются вопросы имитационного моделирования и, в частности статистического моделирования. На его основе разработана учебная дисциплина «Моделирование систем», которая относится к дисциплинам блока специальных дисциплин государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по нескольким специальностям направления «Информатика и вычислительная техника». В стандарт направления «Бизнес-информатика» включена дисциплина «Имитационное моделирование».

Сравнительный анализ систем имитационного моделирования. Для реализации имитационных моделей на ЭВМ существуют специальные языки имитационного моделирования, программные системы и среды имитационного моделирования. Многообразие языков имитационного моделирования (сейчас их известно более 500) и систем имитационного моделирования (их известно более 200) вызвано применением имитационного моделирования в различных предметных областях, ориентацией на определенный тип моделей, использованием различных способов имитации и различных типов ЭВМ [3].

Во многих образовательных учреждениях России при обучении студентов используется система и язык имитационного моделирования GPSS World. В последнее время значительно увеличилось число публикаций по данной системе [3, 4, 5, 6]. Она представляет собой комплексный моделирующий инструмент, охватывающий области как дискретного, так и непрерывного компьютерного моделирования, обладающий высоким уровнем интерактивности и средствами визуального представления информации. Система имитационного моделирования GPSS World создана на основе языка GPSS, который ввел в имитационное моделирование парадигму потокового, или сетевого программирования. В соответствии с этой парадигмой поток сущностей (транзактов) продвигается по структурной диаграмме, представляющей систему. Транзакты ожидают в очередях, конкурируют за использование ресурсов и блоков, осуществляющих их обработку (обслуживание), и, в конце концов, покидают систему. Накапливая статистику о поведении транзактов, можно оценить параметры моделируемой системы.

Рассмотрим пример использования системы GPSS World для решения задач моделирования. Пусть нужно исследовать непрерывную марковскую цепь, состояния которой описывают фазы случайного процесса. Пример графа марковской цепи, состоящей из трех состояний, представлен на *рис. 1*.

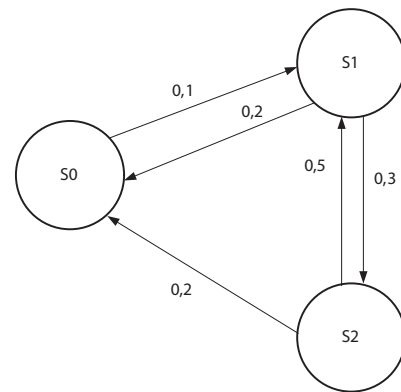


Рис. 1. Граф непрерывной марковской цепи

Система дифференциальных уравнений Колмогорова, описывающая функционирование данной марковской цепи, имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -0,1P_0(t) + 0,2P_1(t) + 0,2P_2(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = -0,5P_1(t) + 0,1P_0(t) + 0,3P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = -0,7P_2(t) + 0,3P_1(t) \end{cases} \quad (1)$$

Программа, моделирующая данную цепь, имеет вид

```

GENERATE 10
TERMINATE 1
*задание значений параметров*
lambda01 equ 0.1
lambda10 equ 0.2
lambda12 equ 0.3
lambda21 equ 0.5
lambda20 equ 0.2
*задание начальных значений переменных*
P0_ equ 1
P1_ equ 0
P2_ equ 0
*задание системы дифференциальных уравнений*
P0_ integrate (-lambda01#P0_+lambda10
#P1_+lambda20#P2_)
P1_ integrate (-lambda10+lambda12)#P
1_+lambda01#P0_+lambda21#P2_)
P2_ integrate (-lambda20+lambda21)#P
2_+lambda12#P1_)
start 1
  
```

Использование системы GPSS World позволяет разрабатывать имитационные модели экономических, хозяйственных, информационных и других систем, связанных с обработкой потоков заявок, выполнять машинные эксперименты с ними. Несмотря на простоту решения рассмотренного примера, видно, что приведенная программа и средства ее реализующие, в полной мере не обладают ни одним из ранее указанных требований. В частности, нет возможности построить иерархическую структуру, необходимо создавать программу в текстовом виде без построения визуальных

схем и др. Таким образом, для построения модели системы необходима специальная подготовка по языкам программирования. Язык программирования не относится к уровню языков сверхвысокого уровня, который может быть использован, не только специалистами по информационным технологиям, но и практикующими экономистами. Нет интеграции с другими программными приложениями, в том числе с CASE-средствами, отсутствует встроенная анимация.

Это определяет необходимость выбора для обучения студентов направления «бизнес-информатика» других инструментальных средств моделирования. При анализе таких средств учитывались разные обстоятельства, в том числе и возможность их приобретения, доступность, цена, возможность получения консультаций и др. В результате проведенного анализа выбрана система имитационного моделирования AnyLogic [1], которая разработана в 1999 году Российской фирмой XJ Technologies (г. Санкт-Петербург). За прошедшие годы система получила большое распространение и популярность. Это одна из немногих российских разработок в области имитационного моделирования, получивших признание за рубежом.

Язык и система моделирования AnyLogic доказали свою эффективность при моделировании сложных систем. Основными блоками модели AnyLogic являются активные объекты, которые позволяют моделировать любые объекты реального мира. Активный объект является экземпляром класса. Чтобы создать модель AnyLogic, нужно создать классы активных объектов (или использовать объекты библиотек AnyLogic) и задать их взаимосвязи. AnyLogic интерпретирует графически создаваемые классы активных объектов в классы Java. Поэтому можно пользоваться всеми преимуществами объектно-ориентированного и визуального моделирования: наследованием, полиморфизмом и т. д.

Наследование позволяет значительно упростить процесс разработки моделей. Активные объекты могут содержать вложенные объекты, причем уровень вложенности неограничен, что позволяет производить декомпозицию модели на любое количество уровней детализации. С помощью инкапсуляции объектов можно скрыть детали разработки моделируемого объекта.

Данная система моделирования удовлетворяет всем ранее сформулированным требованиям. Еще одним, важным ее свойством, определяющим целесообразность использования для обучения, является то, что в ней реализованы основные парадигмы имитационного моделирования: дискретно-событийное моделирование, которое реализовано в GPSS, системная динамика, многоагентное моделирование. Следовательно, подход к обучению становится унифицированным при изучении различных парадигм. Кроме того, интегрируя данные парадигмы можно значительно увеличить их возможности.

Рассмотрим пример динамической модели Лоренса, используемой для анализа динамики городов [2]. Такая система исследования динамики города рассматривает три взаимосвязанные переменные: продукция, производимая городской системой; численность насе-

ления города; земельная рента (стоимость жилья). Система дифференциальных уравнений для ее описания имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = a_1(a_2y - a_3x); \\ \frac{dy}{dt} = c_1(c_2x - c_3y) - c_4xz; \\ \frac{dz}{dt} = d_1xy - d_2z, \end{cases} \quad (2)$$

где a_i, c_i, d_i – положительные коэффициенты, параметры модели;

a_1 – скорость восстановления продукции на городском рынке;

a_2 – спрос потребной городской продукции на душу населения;

a_3y – общий спрос жителей на городскую продукцию;

a_3 – коэффициент, показывающий скорость поступления продукции на городской рынок;

a_3x – общий объем продукции на городском рынке;

c_2 – спрос на труд со стороны фирм на единицу своей продукции;

c_2x – общий спрос на труд на городском рынке труда для производства продукции;

c_3 – коэффициент, показывающий предложение труда на единицу населения;

c_3y – общее предложение труда на городском рынке;

$c_2x - c_3y$ – избыток или недостаток спроса на труд на городском рынке, в зависимости от требуемого объема производства;

c_1 – коэффициент, учитывающий миграцию населения с учетом избытка или недостатка спроса на труд;

c_4 – коэффициент, учитывающий миграцию населения с учетом цены на землю (квартиры);

d_1 – коэффициент, учитывающий изменение ренты на землю (стоимости на жилье), при изменении объема продукции и численности населения;

d_2 – скорость изменения ренты, приведенная к единице цены.

Для решения системы уравнений будем использовать парадигму системной динамики Дж. Форрестера [7]. При ее использовании делается ряд предположений и допущений. Модели системной динамики абстрагируются от индивидуальных характеристик и поведений объектов системы и даже от самих индивидуальных объектов. В этих моделях обычно абстрагируются от физических характеристик среды, в которой протекают процессы. Все переменные, даже если они характеризуют дискретные количества, рассматриваются как непрерывные. Здесь не выделяются отдельные события в системе, все процессы рассматриваются протекающими в непрерывном времени.

В системной динамике предложена своя графическая нотация для построения структур потоковых диаграмм. В моделях системной динамики основной интерес представляют накопители некоторого содержимого и анализ изменения их объемов во времени. Такое представление позволяет построить модель в терминах ги-

дродинамики. Элементами модели являются емкости и клапаны. Емкости между собой связаны каналами, а клапаны определяют скорость протекания процессов в данных каналах, что позволяет описать функционирование системой дифференциальных или интегральных уравнений вида:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \text{вход}(t) - \text{выход}(t); \quad (3)$$

$$n(t) = \int_{t_0}^t (\text{вход}(s) - \text{выход}(s)) ds + n(t_0),$$

где $n(t)$ – текущее состояние числа однотипных объектов в емкости;

$n(t_0)$ – начальное состояние числа объектов в емкости.

Графическая модель данной системы дифференциальных уравнений в нотациях, близких к нотациям системной динамики, приведена на рис. 2. На рис. 3 приведены результаты моделирования. Полученные фазовые портреты описывают изменение двух переменных модели (численности населения и объема продукции) для различных значений параметров модели.

Из рисунков видно, что равновесие может быть устойчивым или неустойчивым. В приведенном примере устойчивость равновесия означает равенство нулю численности населения, а также отсутствие выпуска продукции. Город прекращает свое существование. Неустойчивость свидетельствует о колебаниях значений переменных относительно точки равновесия. Происходит мягкая потеря устойчивости. При этом процесс не является периодическим. Траектория «наматывается» хаотически. Существует «странный аттрактор». Поэтому трудно прогнозировать будущие значения переменных системы. Графический анализ других переменных определяет динамику их изменения. Топология рисунков не зависит от начальных условий, а зависит только от параметров системы уравнений.

Простота решения данного примера показывает на высокий уровень языка и системы имитационного моделирования, что существенно повышает производительность труда при моделировании. Это позволяет свести разработку имитационной модели к построению ее визуальной блок-схемы (математической схемы). К сожалению такой подход позволяет реализовать толь-

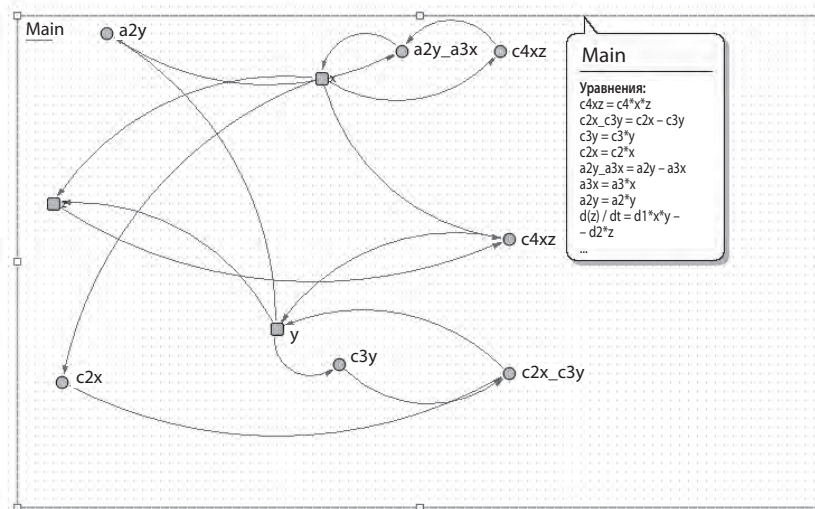


Рис. 2. Графическое представление модели Лоренца

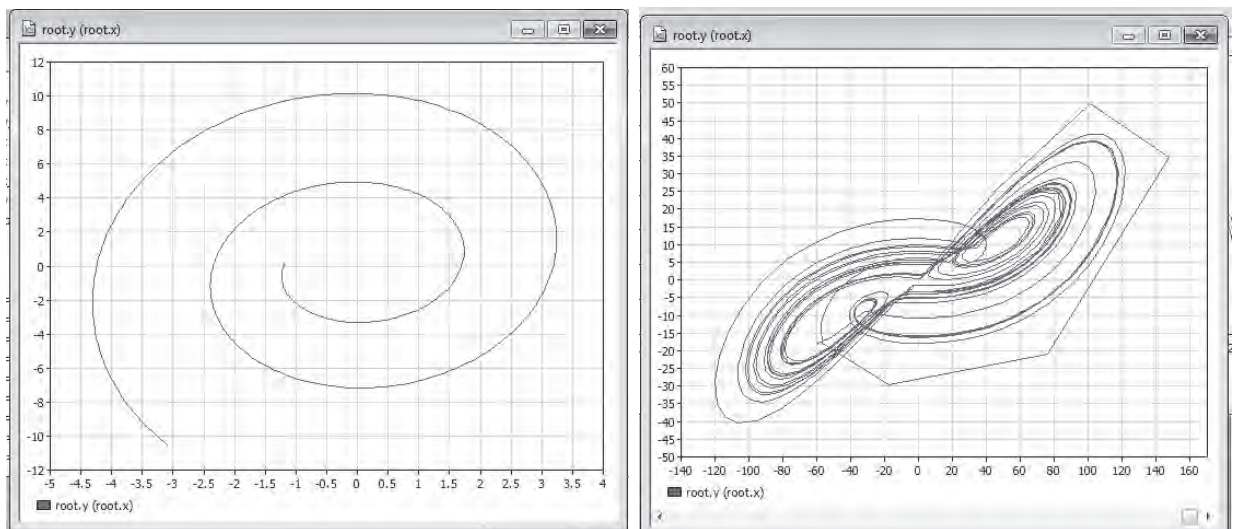


Рис. 3. Результаты имитационного моделирования

ко простейшие структуры. При усложнении логики модели структурные диаграммы необходимо дополнять предложениями языка программирования Java.

Данная модель относится к классу моделей с обратными связями. Скорость изменения для каждой переменной зависит от значений других переменных. К подобным системам относятся также модели Лотки – Вольтерра (модели «хищник-жертва»), описывающие конкуренцию, классовую борьбу, ланчестерские модели, описывающие динамику средних и др., которые могут быть исследованы аналогично.

Проведенный анализ системы AnyLogic показывает эффективность и целесообразность ее применения при решении задач обучения. Первый опыт использования данной системы в образовательном процессе показал наличие высокого интереса к ней со стороны студентов. Это обусловлено, в том числе следующими обстоятельствами:

- ✦ В системе реализован визуальный подход к моделированию. Для создания простых систем достаточно использовать метод «перенести и вставить» (drag&drop). Полученная визуальная модель является моделью системы на языке визуального моделирования. Такой стиль разработки программ позволяет решать задачи моделирования не только тем, кто профессионально готовится по информационным направлениям, но и другим категориям обучаемым.

- ✦ Имеющийся «движок» позволяет изменять масштаб времени при моделировании, использовать реальное и виртуальное время. Это позволяет реально оценивать временные затраты или масштабировать «медленные» и «быстрые» процессы.

- ✦ Система содержит средства для проведения пользовательских экспериментов, в том числе оптимизационных экспериментов, что позволяет численно решить задачи поиска оптимального решения. Таким образом, в системе совмещены средства моделирования со средствами поддержки принятия решений.

- ✦ Система имеет встроенные средства анимации, позволяющие повысить степень доверия к результатам имитационного моделирования.

- ✦ Система хорошо документирована. Вся документация составлена на русском языке (к сожалению, кроме библиотеки функций на Java). Имеется большое число примеров. Имеется возможность обратиться в фирму XJ Technologies за консультацией.

ВЫВОДЫ

Проведенный сравнительный анализ двух систем имитационного моделирования свидетельствует об одинаковой точности результатов имитационного моделирования. Поэтому можно сделать вывод о целесообразности дальнейшего внедрения системы AnyLogic в процесс экономического образования в связи с созданием информационного общества, формированием единого информационного пространства. Следует отметить, что если исследуется система одновременных уравнений, то ее решение возможно только после получения приведенной формы. Поэтому рассмотренное

средство не нужно рассматривать как «панацею». Ее нужно изучать совместно с изучением других средств, в том числе и статистическим пакетом STATISTICA, который позволяет решить линейные системы одновременных уравнений. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 / Ю. Г. Карпов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005.
2. Занг В. Г. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории / В. Г. Занг. – М. : Мир, 1999.
3. Рыжиков Ю. И. Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю. И. Рыжиков. – СПб. : Корона, 2004.
4. Советов Б. Я. Имитационное моделирование систем / Б. Я. Советов, В. Н. Наумов, А. А. Грехов, Ю. В. Демьшев. – Петродворец, ВУНЦ ВМФ, 2010.
5. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 2001.
6. Томашевский В. Н. Имитационное моделирование в среде GPSS / В. Н. Томашевский, Е. Г. Жданова. – М. : Бестселлер, 2003.
7. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустриальная динамика) / Дж. Форрестер : пер. с англ. под ред. Д. М. Гвишиани. – М. : Прогресс, 1971.