

---

**ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-МАТЕМАТИКОВ В БЕЛОРУССКОМ  
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ****В. И. Малюгин, Ю. С. Харин (Минск)**

Имитационное моделирование, как известно, является эффективным инструментом исследования сложных систем на различных этапах их жизненного цикла, включая проектирование, разработку и эксплуатацию. Новые направления в применении имитационного моделирования связаны с их использованием для решения задач прогнозирования и принятия решений в процессе управления сложными системами.

Одним из наиболее эффективных в имитационном моделировании, безусловно, является дискретно-событийный подход, ориентированный на исследование широкого класса сложных систем, представимых в виде систем массового обслуживания. Развитию и широкому распространению данного подхода в значительной степени способствовало наличие у разработчиков имитационных моделей специализированных систем имитационного моделирования, основанных на языке GPSS. Непрерывная эволюция этих систем, берущая начало от системы GPSS 1, созданной Джефффри Гордоном в 1961 г. [1], позволяет в течение уже почти пятидесяти лет использовать язык GPSS на новых типах ЭВМ, в новых операционных системах, расширяя возможности самого языка. Доступность учебных версий таких наиболее известных систем моделирования из этой серии, как GPSS/PC и GPSS World, а также обширного учебно-методического обеспечения (прежде всего, широко известной «красной книги» Т. Шрайбера [2], современных учебников, например [3–8], и мультимедийных учебных материалов), создает условия для эффективной организации учебного процесса по имитационному моделированию сложных систем.

В Белорусском государственном университете обучение методам имитационного моделирования сложных систем, а также статистическим методам моделирования и обработки результатов имитационных экспериментов ведется на всех специальностях факультета прикладной математики и информатики (ФПМИ), начиная с 1988 г., в рамках дисциплины «Имитационное и статистическое моделирование (ИСМ)».

В настоящее время данная дисциплина преподается для студентов специальностей:

- 1-31 03 03. Прикладная математика;
- 1-31 03 04. Информатика;
- 1-31 03 05. Актуарная математика;
- 1-31 03 06. Экономическая кибернетика (математические методы и компьютерное моделирование в экономике);
- 1-98 01 01. Компьютерная безопасность (математические методы и программные системы).

В соответствии с учебной программой для изучения дисциплины отводится 68 часов аудиторных занятий, в том числе лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 34 часа.

Лекционный курс по ИСМ включает следующие основные разделы:

- 1) имитационное моделирование сложных систем;
- 2) статистическое моделирование случайных элементов;
- 3) метод Монте-Карло и его применения;
- 4) статистическая обработка результатов моделирования;
- 5) планирование имитационных экспериментов;

- б) программное обеспечение имитационного и статистического моделирования.

Лабораторные занятия проводятся в форме компьютерного практикума. Полное типовое задание компьютерного практикума включает три индивидуальных задания.

- Задание 1.** Разработка имитационной модели на языке имитационного моделирования GPSS.
- Задание 2.** Имитационное моделирование сложной системы с помощью дискретно-событийного способа имитации на универсальном языке программирования (C++, C#, Java и др. – по выбору студента).
- Задание 3.** Статистическое моделирование случайных величин с заданными законами распределения и их использование в методе Монте-Карло для приближенного вычисления характеристик сложной системы.

Целью первого задания является практическое освоение языка GPSS и приобретение навыков разработки моделей с помощью специализированной системы имитационного моделирования. При формулировке первой задачи используется концепция «постепенного усложнения модели», т.е. первоначальная формулировка моделируемой системы предполагает использование лишь стандартного набора блоков GPSS, а итоговая система требует для своего описания различных дополнительных возможностей языка. Эта концепция удобно реализуется в рамках GPSS. Разработанная модель используется для исследования и повышения эффективности функционирования сложной системы на основе имитационных экспериментов. Для разработки моделей используются студенческие версии систем GPSS/PC и GPSS World (по выбору студентов). Система GPSS/PC используется также в методических целях для демонстрации интерактивных и графических возможностей по управлению процессом моделирования. На выполнение первого задания требуется около 60 % всего учебного времени.

В качестве моделируемой системы в рамках второго задания используется упрощенный вариант системы из первого задания. Выполнение данного задания преследует две методические цели: 1) приобретение опыта разработки имитационной модели на универсальном языке программирования, который может быть полезен при моделировании систем с существенными особенностями либо требованиями; 2) сравнительный анализ альтернативных подходов.

Кроме того, выполняя второе задание, студенты получают более глубокие представления о принципах организации специализированных систем, в частности: о функциях симулятора, способах организации модельного (системного) времени, принципах получения статистических данных, вычислении характеристик системы и т.д. Более гибкие возможности универсальных языков программирования позволяют решать более сложные задачи исследования, связанные с оптимизацией структуры либо процессов функционирования моделируемой системы. С учетом высокого уровня программистской подготовки студентов факультета на выполнение данного задания требуется около 30% учебного времени.

Целью третьего задания является разработка программ, реализующих алгоритмы статистического моделирования случайных величин на универсальном языке программирования, а также практическое освоение метода Монте-Карло и его применение в контексте моделирования сложных систем. На выполнения данного задания требуется около 10% учебного времени.

По каждому заданию студенты оформляют отчет в соответствии с установленными типовой формой и требованиями. В качестве учебно-методических материалов наряду с вышеперечисленными источниками используются авторские учебные пособия

[9–11]. Банк заданий компьютерного практикума включает более 100 заданий по моделированию различных типов сложных систем, включая вычислительные системы и сети, системы передачи и обработки информации, транспортные и технические системы, производственные и технологические системы, системы автоматизации проектирования, торговые и коммерческие системы, системы управления качеством и т.д., что позволяет учесть особенности прикладных областей для различных специальностей.

### Выводы

Универсальность и эффективность имитационного моделирования сложных систем на основе дискретно-событийного подхода позволяет применять его для исследования сложных систем, относящихся к различным областям человеческой деятельности. Выпускники специальностей математического профиля, имеющие фундаментальную математическую и программистскую подготовку могут участвовать в этом процессе в роли разработчиков как самих имитационных моделей сложных систем, так и инструментальных средств имитационного моделирования. Для этой цели они должны пройти специальную подготовку по основным разделам имитационного и статистического моделирования. Двадцатилетний опыт обучения студентов математических специальностей основам имитационного моделирования указывает на то, что они достаточно быстро овладевают необходимыми знаниями и навыками. В то же время, актуальной является проблема более тесной привязки и адаптации как теоретической, так и практической частей соответствующих учебных дисциплин к проблемам имитационного моделирования сложных систем, актуальных для конкретных специальностей. Такая актуализация общей дисциплины, преподаваемой для различных специальностей, может быть осуществлена за счет включения теоретических вопросов и заданий практикума, связанных со спецификой конкретной специальности. Например, включением вопросов и заданий, связанных имитационным моделированием: систем принятия решений в финансовой деятельности компаний для специальности «Актуарная математика» [12], экономических систем и бизнес-процессов для специальности «Экономическая кибернетика» [13, 14], систем защиты информации для специальности «Компьютерная безопасность» [15].

### Литература

1. **Gordon Geoffrey.** System Simulation, 2nd ed., Prentice-Hall, 1978.
2. **Шрайбер Т. Д.** Моделирование на GPSS. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
3. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем. М.: Высшая школа, 2007. 343 с.
4. **Боев В. Д.** Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. 368 с.
5. **Бражник А. Н.** Имитационное моделирование: возможности GPSS World. СПб.: Реноме. 2006. 439 с.
6. **Рыжиков Ю. И.** Имитационное моделирование: Теория и технологии. СПб.: КОРОНА принт, 2004. 384 с.
7. **Кудрявцев Е. М.** GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. М.: ДМК Пресс, 2004. 320 с.
8. **Аверилл М., Лоу В., Дэвид Кельтон.** Имитационное моделирование. СПб.: Питер, Издательская группа BHV. 2004. 848 с.
9. **Харин Ю. С. и др.** Основы имитационного и статистического моделирования. Учебное пособие/ Ю. С. Харин, В. И. Малюгин, В. П. Кирлица, В. И. Лобач, Г. А. Хацкевич. Минск: ДизайнПРО, 1997. 228 с.

10. **Лобач В. И., Кирлица В. П., Малюгин В. И., Сталевская С. Н.** Имитационное и статистическое моделирование. Практикум для студентов математических и экономических специальностей. Минск: БГУ, 2004. 189 с.
11. **Харин Ю. С., Малюгин В. И., Абрамович М. С.** Математические и компьютерные основы статистического моделирования и анализа данных. Учебное пособие. Минск: БГУ, 2008. 455 с.
12. **Горбунов А. Р.** Управление финансовыми потоками. Проект «сборка холдинга». Издание пятое, дополненное и переработанное. М.: Глобус, 2004. 240 с.
13. **Емельянов А. А., Власова Е. А., Дума Р. В.** Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2005.
14. **Кобелев Н. Б.** Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. М.: Дело, 2003. 335 с.
15. **Колбанев М. О., Яковлев С. А.** Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. СПб.: Издательство СПбГУ. 2002. 230 с.