

**ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
В ЭКОНОМИЧЕСКОМ ВУЗЕ****О.И. Еськова (Гомель)**

Дисциплина «Имитационное моделирование экономических процессов» преподаётся в Белорусском торгово-экономическом университете потребительской кооперации (г. Гомель) начиная с 2007 года. Эта дисциплина входит в учебный план для специальностей «Управление информационными ресурсами» и «Экономическая информатика». Для студентов полного срока обучения предполагается достаточно большое количество учебных часов: 38 часов лекций и 52 часа лабораторных работ в компьютерном классе.

Практическая часть курса ориентирована на систему моделирования GPSS World. Лекционный материал включает почти весь спектр вопросов, касающихся разработки и эксплуатации имитационных моделей: основные понятия моделирования, разработка моделей на языке GPSS, генерация случайных величин, организация имитационных экспериментов (для примеров используется язык PLUS), непрерывное моделирование, а также рассматривается ряд примеров готовых моделей. В силу слабой математической подготовки студентов предельно упрощена та часть курса, которая касается вопросов математической статистики. Например, не рассматриваются вопросы снижения дисперсии, доказательства адекватности имитационных моделей, и другие вопросы. Однако на простых примерах дается понятие статистической обработки исходных данных и результатов экспериментов, объясняется использование критерия Фишера для оценки статистической значимости фактора.

Язык GPSS выбран как базовый инструмент при обучении методу имитационного моделирования, поскольку, по мнению автора, в нем сочетаются достаточная гибкость и относительная простота изучения. Это особенно важно для студентов экономических специальностей, которые ощущают себя скорее гуманитариями. Студентам приводятся примеры и других систем имитационного моделирования (например, демонстрируются модели, разработанные в AnyLogic и NetLogo), однако лабораторные занятия выполняются в системе GPSS World и приложении MS Excel.

Для выполнения лабораторных работ издан практикум, который включает теоретический материал по каждой теме, контрольные вопросы, а также набор индивидуальных заданий, обеспечивающий самостоятельную работу каждого студента. Практикум включает семь лабораторных работ. Каждая работа должна быть выполнена и оформлена в тетради (в тетрадь приклеиваются распечатки текстов программ и отчетов, рисуются необходимые схемы и диаграммы, текстом описываются выводы). Также предусмотрена защита лабораторных работ. На защите в ходе индивидуальной беседы с каждым студентом проверяется понимание им логики функционирования всех представленных программ, а также оцениваются теоретические знания по вопросам, данным в конце каждой работы. Защита оценивается по десятибалльной системе, и полученные оценки учитываются при выставлении итогового балла на экзамене. Предполагается, что те студенты, которые завершают практикум раньше остальных, остаток времени посвящают работе над более сложным индивидуальным заданием. Кроме того, часть тем курсовых работ по смежному курсу «Экономико-математические методы и модели принятия решений» предполагают имитационный метод исследования.

Первая лабораторная работа вводная, она посвящена методу Монте-Карло. Ее цель – продемонстрировать студентам необходимость учета случайного характера факторов, влияющих на оценку системы, а также правильного отражения закона распределения этих

случайных факторов в модели. Идея работы позаимствована из книги И.Я. Лукасевича «Анализ финансовых операций» [1].

Работа выполняется в приложении MS Excel, используется инструмент Пакета анализа «Генерация случайных чисел». Рассматривается инвестиционный проект, эффективность которого зависит от двух случайных факторов: цены производимой продукции и стоимости затрачиваемого сырья. Чистая текущая стоимость проекта сначала рассчитывается по наиболее вероятным значениям этих величин. Затем генерируется много пар значений факторов, для каждой из них рассчитывается соответствующий показатель чистой текущей стоимости. Полученные значения результата затем усредняются, рассчитывается дисперсия и коэффициент вариации как характеристика риска данного проекта. Задавая различные законы распределения факторов, студенты могут убедиться в том, насколько это влияет на результат оценки проекта.

В основу методики изучения языка GPSS положен подход, изложенный в книге Т. Дж. Шрайбера «Моделирование на GPSS» [2]. В частности, достаточно внимания уделяется обсуждению логики работы моделирующей системы, использованию цепей событий и механизму работы каждого блока. Это позволяет «перестроить» мышление студентов и перейти от последовательного подхода к программированию к концепции параллельного движения нескольких транзактов. Кроме того, это позволяет понять принципы отладки моделей и в дальнейшем ускорить их разработку.

Поэтому вторая лабораторная работа посвящена «ручному» моделированию и подробному изучению простейшей модели одноканальной системы массового обслуживания (модели парикмахерской). Студентам предлагается построить временную диаграмму событий в системе, рассчитать по ней характеристики очереди и обслуживающего устройства, подробно изучить работу модели парикмахерской, построить таблицу изменения состояний цепей текущих и будущих событий. Эта работа вызывает определенные трудности у некоторых студентов, которые не обладают хорошим уровнем логического мышления, либо недостаточно аккуратны в расчетах. Кроме того, при защите работы требуется знание довольно большого фрагмента теоретического материала. Однако эта работа создает фундамент для дальнейшего программирования на GPSS, дает понимание, как формируются те показатели, которые представлены в отчетах. Сами студенты, уже прошедшие обучение, говорили о том, что если «продратся» через вторую лабораторную работу, дальнейшие задания кажутся достаточно простыми.

Третья лабораторная работа посвящена технологии использования системы GPSS World. Объясняется работа с файлами, способы ввода текста модели, компиляции и исправления ошибок, выполнения прогонов программы модели, подробно обсуждается структура стандартного отчета. При этом используется модель парикмахерской, разобранный в предыдущей работе. Кроме того, показаны способы отладки модели с использованием окна блоков, снимков цепей событий, а также других динамических и статических окон GPSS (окон выражений, графиков, устройств и очередей и т.д.) Вводится понятие стандартных числовых атрибутов, а также показано использование наиболее популярных управляющих операторов (команд). Особенно подробно обсуждаются команды START и CLEAR, способы управления окончанием процесса моделирования (по времени или по числу обслуженных транзактов). При разработке этой лабораторной работы использовалась различная литература, в которой описана современная версия системы GPSS World [3,4].

В качестве индивидуального задания по данной работе предлагается построение временной диаграммы событий в системе по результатам выполнения модели. Т.е. требуется поставить точки прерывания в модели парикмахерской, и в процессе имитации просмотреть цепи событий (можно также использовать и Журнал). Определив моменты мо-

дельного времени, в которые происходят события в системе, в тетради строится временная диаграмма этих событий, по которой производится расчет показателей очереди и устройства. Рассчитанные таким образом показатели должны совпасть с теми, которые приведены в отчете GPSS. При защите работы наибольшее внимание уделяется структуре стандартного отчета и пониманию смысла каждого показателя.

Целью четвертой лабораторной работы является обучение азам программирования на GPSS. В дополнение к уже изученным блокам рассматриваются блоки управления многоканальными устройствами (ENTER и LEAVE), несколько режимов блока TRANSFER, обсуждаются вопросы организации обработки различных типов транзактов, использования и динамического изменения приоритетов. Изложение материала сопровождается простыми, но наглядными примерами моделей (в основном взятых из книги Шрайбера). Причем студентам нет необходимости набирать эти тексты моделей, они могут загрузить их с сервера университета, а затем модифицировать в соответствии с заданием, получив новый отчет. Небольшие задания по модификации этих программ позволяют лучше усвоить материал. Кроме того, имеется набор индивидуальных задач, которые уже нужно программировать «с нуля». Каждый студент должен решить не менее двух задач и продемонстрировать хорошее понимание механизма работы изученного набора блоков.

Пятая лабораторная работа посвящена использованию случайных величин, имеющих различные законы распределения. Рассматриваются стандартные функции языка PLUS для непрерывных распределений (экспоненциального и нормального), подробно описывается использование функции Exponential() для моделирования пуассоновских потоков событий. В качестве индивидуальных заданий требуется выполнить имитацию какой-либо системы массового обслуживания (многоканальной или одноканальной, с отказами, с ожиданием или с ограниченной очередью), используя экспоненциальный закон распределения интервалов между заявками и времени обслуживания. При этом нужно рассчитать показатели очереди и устройства, используя известные аналитические формулы (с помощью приложения MathCad 8.0), а затем сравнить результаты аналитического и имитационного моделирования. Таким образом, удастся еще раз подчеркнуть плюсы и минусы имитационного подхода к моделированию. Кроме того, в данной работе обсуждается моделирование эмпирических функций распределения с помощью табличного задания функции GPSS, а также смысл и назначение команды RMULT.

Шестая лабораторная работа расширяет возможности студентов по программированию моделей. Рассматриваются вопросы использования стандартных числовых атрибутов объектов в качестве операндов блоков и параметров функций, переменных GPSS и параметров транзактов, выбор объектов по их состояниям (блок SELECT), измерения времени движения транзактов в модели (в том числе блок MARK), использование таблиц. Подход к изложению материала аналогичен представленному в лабораторной работе №4: примеры моделей, которые требуется изучить или модифицировать, и индивидуальные задания по разработке моделей. Безусловно, студентам излагаются не все возможности языка GPSS: не рассматриваются вопросы прерывания работы устройств, создания ансамблей, расщепления и объединения транзактов, различные способы изменения маршрута транзакта (кроме блока TRANSFER) и т.д. Однако изученных возможностей достаточно для создания моделей средней сложности, дающих общее представление о методе имитационного моделирования. В дальнейшем, в ходе выполнения усложненных индивидуальных заданий или курсовых работ, студенты самостоятельно изучают другие блоки языка, используя справку системы, доступную в библиотеке литературы, либо материалы Интернета.

Седьмая лабораторная работа является обобщающей. В ней делается упор не на программирование моделей, а на правильную организацию имитационных экспериментов.

Обсуждаются вопросы определения наличия и длительности переходного периода случайного процесса, сброса накопленной статистики моделирования, сохранения результатов моделирования в файле или с использованием сохраняемых величин и матриц. Особенное внимание уделяется командам RESET, RMULT, CLEAR OFF и т.д. В плане обработки результатов моделирования рассматриваются только основы: расчет выборочных оценок математического ожидания и дисперсии, построение доверительного интервала для математического ожидания. Обсуждаются возможности процедуры ANOVA(). Автоматизация эксперимента рассматривается двумя способами: с помощью командного файла, и с использованием процедуры Experiment(). Индивидуальное задание требует корректной постановки эксперимента для задачи, программа которой была разработана в предыдущей лабораторной работе. От студента требуется построение графика основного показателя системы, определения наличия и длительности переходного периода, разработка программы автоматизации эксперимента на языке PLUS, обсуждение полученных результатов.

Таким образом, в процессе выполнения лабораторных работ, студенты получают представление о принципах разработки и эксплуатации имитационных моделей в системе GPSS World. При этом от них не требуется ни глубокое знание математики, ни продвинутых способностей к программированию. Общая концепция обучения GPSS состоит в том, что студентам не дается список всех возможностей системы, а использование ограниченного числа блоков показано на примерах. Опыт проведения занятий по дисциплине «Имитационное моделирование экономических процессов» показал, что все студенты специальности «Управление информационными ресурсами» способны овладеть азами программирования на GPSS (на уровне четвертой работы), а 25% из них после выполнения усложненных заданий проникаются идеями имитационного моделирования и используют GPSS World в ходе курсового и дипломного проектирования.

Литература

1. **Лукаевич, И.Я.** Анализ финансовых операций. Методы, модели, техника вычислений / И. Я. Лукаевич. – М. : Финансы, ЮНИТИ, 1998. – 402 с.
2. **Шрайбер, Т.Дж.** Моделирование на GPSS/Т. Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
3. **Рыжиков, Ю.И.** Имитационное моделирование. Теория и технологии / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: КОРОНА принт. – М.: Альтекс-А, 2004. – 384 с.
4. **Кудрявцев, Е.М.** GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.