



Правительство Российской Федерации

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»**

Факультет компьютерных наук

**Программа дисциплины
«Имитационное моделирование финансово-экономических систем»**

для направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки магистра
для магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных»

Автор программы:
Бекларян А.Л., abeklaryan@hse.ru

Одобрена на заседании
Департамента больших данных и информационного поиска
Рук. департамента Подольский В.В. _____ «___» _____ 2017 г.

Утверждено Академическим советом
магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных»
Академический руководитель Масютин А.А. _____ «___» _____ 2017 г.

Москва, 2018

*Настоящая программа не может быть использована другими подразделениями университета
и другими вузами без разрешения разработчика программы.*

1 Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям студента и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, учебных ассистентов и студентов направления 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки магистра, обучающихся по магистерской программе «Финансовые технологии и анализ данных».

Программа разработана в соответствии с:

- образовательным стандартом Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», уровень подготовки: магистр, утвержденным ученым советом НИУ ВШЭ 22.12.2017 протокол №13;
- рабочим учебным планом университета по направлению 01.04.02 «Прикладная математика и информатика» подготовки магистра для магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных», утвержденным 02.02.2018 г.

2 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у студентов комплекса теоретических знаний и методологических основ в области систем имитационного моделирования, а также практических навыков, необходимых для внедрения и практического использования таких систем в рамках финансово-экономических структур.

3 Компетенции обучающегося формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен:

- знать характеристики рынка систем имитационного моделирования (ИМ) и перспективы развития систем ИМ, основные методы имитационного моделирования, включая методы системной динамики, агентного моделирования, дискретно-событийного моделирования, вероятностного моделирования и др., а также основные классы и принципы построения информационных систем, применяемых для практической реализации этих методов;
- уметь применять системы имитационного моделирования для решения задач прогнозирования, сценарного (ситуационного) моделирования и анализа,



интеллектуальной обработки данных, поиска оптимальных управленческих решений, оценки влияния рисков;

- иметь навыки (приобрести опыт) разработки имитационных моделей, основанных на использовании современных методов имитационного моделирования и интегрированных с различными источниками данных.

В результате освоения дисциплины студент приобретает следующие компетенции:

Компетенция	Код по ФГОС/ НИУ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Знать теоретические основы моделирования, методологию построения моделей сложных систем, методы сбора, хранения и анализа информации, модели представления и обработки знаний системы принятия решений, методы анализа функциональных бизнес-задач и проектирования профессионально-ориентированных систем	СК-1 СК-3	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способность выявлять и прогнозировать основные направления использования современных ИКТ для управления эффективностью бизнеса	ПК-11	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способность проводить научные исследования и готовить аналитические материалы для оценки мероприятий и выработки стратегических решений в сфере ИКТ	ПК-12	Владеет и применяет	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий
Способность обосновывать решения на основе результатов моделирования	СК-2	Демонстрирует	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий



Компетенция	Код по ФГОС/ НИУ	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
Владение методами теории систем и системного анализа, навыками формулирования простейших прикладных экономико-математических моделей, методами и инструментами исследований моделей и методов совершенствования архитектуры предприятия	ПК-8 ПК-13	Демонстрирует	Лекции, практические занятия, выполнение домашних заданий

4 Место дисциплины в структуре образовательной программы

В рамках магистерской программы «Финансовые технологии и анализ данных» настоящая дисциплина является дисциплиной по выбору.

Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

- «Теория баз данных»;
- «Управление данными и исполнение моделей»;
- «Основы риск-менеджмента».

Для освоения учебной дисциплины, студенты должны знать концептуальные основы архитектуры предприятия, основные классы информационных систем управления бизнесом, лучшие практики и современные стандарты в сфере информационных технологий.

Также студенты должны владеть методами проектирования информационных систем, уметь систематизировать и обобщать информацию, разрабатывать конкретные предложения по результатам исследований, готовить справочно-аналитические материалы для принятия управленческих решений в сфере информационных технологий.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при изучении следующих дисциплин:

- «Управление ИТ-проектами и командами разработчиков в сфере data science»;
- «Современные методы принятия решений: алгоритмы обработки больших данных».



5 Тематический план учебной дисциплины

№	Название раздела	Всего часов	Аудиторные часы			Самостоятельная работа
			Лекции	Семинары	Практические занятия	
III МОДУЛЬ						
1.	ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СХЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ	10	2		0	8
1.1.	Основные понятия и задачи моделирования процессов и систем	3	1		0	2
1.2.	Схемы моделирования процессов и систем	7	1		0	6
2.	ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	24	2		4	18
2.1.	Марковские процессы	11	1		2	8
2.2.	Модели массового обслуживания	13	1		2	10
3.	МЕТОДОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	40	6		8	26
3.1.	Теория и методы системной динамики	7	1		2	4
3.2.	Методы стохастического имитационного моделирования	9	1		2	6
3.3.	Многоагентные системы	12	2		2	8
3.4.	Динамические системы и дискретно-событийное моделирование	12	2		2	8
	Итого за третий модуль	74	10		12	52
IV МОДУЛЬ						



4.	ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	50	8		4	38
4.1.	Системно-динамическое моделирование на платформе PowerSim	19	2		1	16
4.2.	Система имитационного моделирования AnyLogic	24	4		2	18
4.3.	Интеграция систем имитационного моделирования с внешними приложениями	7	2		1	4
5.	ТИПОВЫЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ	66	0		10	56
5.1.	Примеры типовых моделей	24	0		4	20
5.2.	Промышленные примеры	42	0		6	36
	Итого за четвертый модуль	116	8		14	94
Общий итог		190	18		26	146

6 Формы контроля знаний студентов

Тип контроля	Форма контроля	1 год		Параметры
		3	4	
Текущий (неделя)	Контрольная работа	10		Письменная работа 4 часа, оценка результатов – 1 неделя
	Домашнее задание		10	Файлы проекта, оценка результатов – 2 недели
Итоговый (неделя)	Экзамен		11	Тест

6.1 Критерии оценки знаний, навыков

Студент должен продемонстрировать знание разделов дисциплины и способность представить результаты выполнения домашнего задания и контрольной работы в соответствии с требуемыми компетенциями.

Оценки по всем формам текущего контроля выставляются по 10-ти балльной шкале.

7 Содержание дисциплины

Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СХЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

Тема 1.1. Основные понятия и задачи моделирования процессов и систем

Моделирование как метод научного познания. Системный подход в моделировании. Использование моделирования при исследовании и проектировании сложных систем. Основные проблемы построения моделей процессов и систем. Классификация моделей процессов и систем. Инструментальные средства моделирования процессов и систем. Этапы построения моделей процессов и систем.

Основная литература

Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб и доп. / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001 – 343 с.

Венцель Е.С. Исследование операций – М.: Радио и связь, 1986 – 358 с.

Дополнительная литература

Моделирование информационных систем: учебное пособие / под ред. О. И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

Колемаев В.А. Математическая экономика – М.: Юнити-Дана, 2005.

Интрилигейтор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория – М: Айрис-Пресс, 2002. – 553 с.

Тема 1.2. Схемы моделирования процессов и систем

Наглядные и символические схемы построения моделей. Статические модели. Непрерывно-детерминированные модели. Дискретно-детерминированные модели. Потoki событий в системах. Дискретно-стохастические модели. Непрерывно-стохастические модели. Сетевые модели. Модели динамического программирования. Моделирование вероятностных процессов в линейных системах.

Основная литература

Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб и доп. / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001 – 343 с.

Венцель Е.С. Исследование операций – М.: Радио и связь, 1986 – 358 с.

Дополнительная литература

Венцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988 – 453 с.

Раздел 2. ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Тема 2.1. Марковские процессы

Дискретный марковский процесс с дискретным временем. Марковская однородная цепь. Марковская неоднородная цепь. Дискретный марковский процесс с непрерывным временем. Пуассоновский стационарный поток событий. Пуассоновский нестационарный поток событий. Потоки Пальма и Эрланга. Сведение немарковских процессов к марковским с помощью потоков Эрланга. Связь пуассоновских потоков событий с дискретными марковскими процессами и с непрерывным временем. Стационарные режимы марковского процесса, достаточные условия их существования.

Основная литература

Лабскер Л.Г. Вероятностное моделирование в финансово-экономической области – М.: Альпина Паблицер, 2002.

Дополнительная литература

Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.

Тихонов А.Н. Вводные лекции по прикладной математике: учебное пособие / А.Н. Тихонов, Д.П. Костомаров. – М.: Наука, 1984. – 190 с.

Тема 2.2. Модели массового обслуживания

Классификация систем массового обслуживания (СМО) и показатели их эффективности. Примеры СМО. Моделирование СМО: основные параметры, граф состояний. Вычисление вероятностей состояний СМО. Одноканальная СМО с отказами. Многоканальная СМО с отказами. Одноканальная СМО с ограниченной очередью. Одноканальная СМО с неограниченной очередью. Многоканальная СМО с ограниченной очередью. Многоканальная СМО с неограниченной очередью. Многоканальная СМО с ограниченной очередью и ограниченным временем ожидания в очереди.

Основная литература

Чернов В.П., Ивановский В.Б. Теория массового обслуживания. М.: Инфра-М, 2000.

Дополнительная литература

Фомин Г.П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности. М.: Финансы и статистика, 2000.

Раздел 3. МЕТОДОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тема 3.1. Теория и методы системной динамики

Теоретические основы системной динамики. Методология разработки системно-динамических моделей. Архетипы системной динамики. Непрерывное и дискретное моделирование. Сжатое и реальное время. Понятие модельного времени. Теория обратных связей и лаговых зависимостей. Реализация имитационной модели в виде системы одновременных уравнений. Интегрирование информационных потоков. Поточное моделирование. Непрерывные и дискретные модели. Калибровка моделей. Примеры системно-динамических моделей.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, BHV, 2004.

Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон; пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

Дополнительная литература

Форрестер Дж. Мировая динамика. М., АСТ, 2003.

Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия, М, Прогресс, 1970.

Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Ю. Каталевский. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.

Meadows D.H. Limits to Growth. New York: University books, 1972.

Sterman J. Business Dynamics. Irwin McGraw-Hill, 2000.

Сидоренко В.Н. Системно-динамическое моделирование в среде Powersim. М.: МАКС Пресс, 2001.

Тема 3.2. Методы стохастического имитационного моделирования

Принятие решений в условиях неопределенности. Случайные величины и их распределения. Метод Монте-Карло и «Латинского гиперкуба». Имитационный эксперимент в условиях неопределенности. Оценка чувствительности целевого функционала. Критерий останова стохастического эксперимента (формула Колмогорова-Смирнова). Стохастическое моделирование и решение оптимизационных задач. Генетический оптимизационный алгоритм. Оценка рисков и оптимизация решений с помощью имитационной модели. Примеры стохастических моделей.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, BHV, 2004.

Дополнительная литература

Войтишек А.В., Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование: Методы Монте-Карло: Учебное пособие для вузов. М.: ИЦ Академия, 2006.

Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.

Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: Физматлит, 2003. – 432 с.

Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М: Физматлит, 2006. – 272 с.

Bielajew A.F. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and charged particle transport, Michigan, 2001.

Тема 3.3. Многоагентные системы

Парадигма агентного моделирования. Архитектура агентных моделей. Понятие карты состояний агента. Коллективное поведение агентов. Взаимодействие агентов со средой и друг с другом. Агенты в пространстве и во времени. Гибридное агентно-ориентированное моделирование. Агентное моделирование и элементы теории игр. Агентное моделирование в оптимизационных задачах. Примеры агентных моделей.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, BHV, 2004.

Дополнительная литература

Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин. Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.

Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. – М.: Экономика, 2008.

Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: Физматлит, 2003. – 432 с.

Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М: Физматлит, 2006. – 272 с.

Yoav S., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press, 2009.

Тема 3.4. Динамические системы и дискретно-событийное моделирование

Введение в динамические системы. Описание поведения сложного динамического объекта с помощью системы дифференциальных уравнений в форме Коши первого рода. Блочный метод реализации моделей динамических систем. Моделирование дискретных систем. Использование конечно-разностных уравнений. Применение событийной модели для управления дискретными потоками. Процессный подход. Системы массового обслуживания.

Моделирование очереди и склада. Моделирование контроллеров. Примеры моделей динамических и дискретно-событийных систем.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, BHV, 2004.

Дополнительная литература

Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7: Decision-oriented introductory notes for master students. 2nd Edition, E-Textbook, Berlin School of Economics and Law (preprint). 2017.

Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Подлазов А. В. Нелинейная динамика: подходы, результаты, надежды. М.: УРСС, 2006.

Таха Х.А. Системы массового обслуживания // Введение в исследование операций – 7-е изд. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 629-697.

Раздел 4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Тема 4.1. Системно-динамическое моделирование на платформе PowerSim

Введение в систему имитационного моделирования PowerSim. Реализация системно-динамических моделей на PowerSim. Поддержка методов стохастического моделирования в PowerSim. Решение оптимизационных задач. Разработка иерархических имитационных моделей. Интеграция PowerSim с MS Excel. Примеры моделей на PowerSim.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, ВНУ, 2004.

Дополнительная литература

Сидоренко В.Н. Системно-динамическое моделирование в среде Powersim. М.: МАКС Пресс, 2001.

Брускин С.Н., Довженко А.Ю., Николаенко В.А. Интеллектуальный анализ динамики бизнес-систем. Учебник. – М: Инфра-М, 2010.

Тема 4.2. Система имитационного моделирования AnyLogic

Введение в систему имитационного моделирования AnyLogic. Реализация простой системно-динамической модели на AnyLogic. Разработка мультиагентной модели на AnyLogic. Анимация и имитационное моделирование. Интеграция модели AnyLogic с простыми источниками данных. Публикация модели AnyLogic под WEB в виде Java апплета. Примеры моделей на AnyLogic.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, ВНУ, 2004.

Дополнительная литература

Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7: Decision-oriented introductory notes for master students. 2nd Edition, E-Textbook, Berlin School of Economics and Law (preprint). 2017.

Тема 4.3. Интеграция систем имитационного моделирования с внешними приложениями

Интеграция систем имитационного моделирования с информационными Хранилищами данных. Введение в информационные Хранилища данных. Интеграция Powersim с Хранилищем данных SAP BW. Интеграция Powersim с СУБД. Интеграция Powersim с WEB-сервером и

внешними приложениями посредством Powersim SDK. Интеграция моделей AnyLogic (приложений Java) с внешними приложениями с помощью RMI. Примеры имитационных моделей, интегрированных с внешними приложениями и WEB-сервером.

Основная литература

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, BHV, 2004.

Дополнительная литература

Спирли Э. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка и реализация. Т.1. – М: Вильямс, 2001.

Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7: Decision-oriented introductory notes for master students. 2nd Edition, E-Textbook, Berlin School of Economics and Law (preprint). 2017.

Раздел 5. ТИПОВЫЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ

Тема 5.1. Примеры типовых моделей

Модель управления авиапарком, модель процесса исследований и разработок (R&D) внутри компании. Модель сервисного обслуживания, общая агентная модель конкуренции на биржевом рынке. Модель корпоративного обучения в компании, владеющей несколькими филиалами. Модель процесса согласования и одобрения кредита в банке, модель «воронки продаж» для бизнеса, требующего проверки клиентов перед тем, как компания начнет оказывать клиенту услуги.

Основная литература

Рожков М.И. Разработка имитационных моделей управления запасами в цепях поставок. – М.: НИУ ВШЭ. – 2011.

Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с.

Дополнительная литература

Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7: Decision-oriented introductory notes for master students. 2nd Edition, E-Textbook, Berlin School of Economics and Law (preprint). 2017.

Тема 5.2. Промышленные примеры

Система оптимизация распределения потока кредитных заявок в крупном банке. Система автоматизации инвестиционной деятельности ВИНК. Моделирование деятельности НПФ на средне- и долгосрочную перспективу.

Основная литература

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983.

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985.

Рожков М.И. Разработка имитационных моделей управления запасами в цепях поставок. – М.: НИУ ВШЭ. – 2011.

Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с.

Дополнительная литература

Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – Springer, 2001.

Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7: Decision-oriented introductory notes for master students. 2nd Edition, E-Textbook, Berlin School of Economics and Law (preprint). 2017.

Mitchell T. Machine Learning. – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997.

8 Образовательные технологии

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы: доклады, обсуждения, решение задач, рассмотрение кейсов.

9 Оценочные средства для текущего контроля студентов

9.1 Содержание заданий текущего контроля

Выполнение домашнего задания предусматривает построение имитационных моделей на конкретной предметной области.

Аудиторная контрольная работа предполагает решение конкретной задачи в среде PowerSim и AnyLogic в компьютерном классе.

Экзамен предполагает письменные ответы на теоретические вопросы, а также решение задач по темам: основные схемы моделирования процессов и систем, вероятностное моделирование.

9.2 Тематика заданий для домашней и контрольной работ

1. Разработка системно-динамической имитационной модели, описывающей систему показателей условной торгово-производственной компании (на Powersim).
2. Разработка системно-динамической имитационной модели на примере розничного магазина (на Powersim).
3. Разработка системно-динамической имитационной модели на примере предприятия по производству бумаги (на Powersim).
4. Разработка имитационной модели простой динамической системы (на примере паронагревательной установки) (на AnyLogic).
5. Разработка модели массового обслуживания покупателей на примере небольшого магазина детских товаров (на AnyLogic).
6. Разработка мультиагентной модели поведения двух-трех групп потребителей на условном рынке товаров и услуг (на AnyLogic).
7. Разработка мультиагентной модели поведения двух-трех конкурирующих производителей на условном рынке товаров и услуг (на AnyLogic).
8. Разработка дискретной (процессной) модели, описывающей движение товаров от производителя к потребителям через условную транспортную систему (на Powersim).
9. Разработка стохастической модели, позволяющей оценивать влияние различных риск-факторов на прибыль условной компании (на Powersim или AnyLogic).
10. Разработка оптимизационной модели, позволяющей отбирать наиболее рентабельные инвестиционные проекты при ограничении на величину инвестиционного капитала (на Powersim).
11. Разработка сценарной модели бюджетирования, интегрированной с MS Excel, для условной компании (на Powersim).

12. Разработка имитационной модели, интегрированной с информационным Хранилищем (MS SQL Server, Oracle, SAP BW) с использованием условных статистических данных (на Powersim или AnyLogic).

9.3 Пример заданий домашней работы

Задача 1

Автомобили транспортного предприятия могут находиться в следующих технологических состояниях:

1 – на стоянке; 2 – на осмотре; 3 – в ремонте; 4 – списаны.

Среднее время поступления автомобилей на осмотр составляет 4 ед. Среднее время осмотра автомобилей – есть квадратичная функция от числа осматриваемых машин с базовой величиной 0,3 ед. и с приростом для второго автомобиля равным 0,2 ед. Среднее время ремонта автомобилей – 100 ед. Процент автомобилей, отошедших в ремонт, определяется вероятностью 0,6. Чтобы скомпенсировать убыль списанных машин, производится пополнение предприятия автомобилями на стоянке. Изначально имеется 40 автомобилей на стоянке, 9 в ремонте и 6 на осмотре. Найдите предельное распределение машин по состояниям, максимальное число машин на осмотре и момент времени, после которого не будет машин на стоянке. Можно ли добиться концентрации менее половины машин в состоянии на осмотре, меняя вероятностную характеристику? (округления количества машин производить согласовано, начиная с больших значений)

Задача 2

В парикмахерской работают 3 мастера, а в зале ожидания расположены 3 стула. Поток клиентов имеет интенсивность 12 клиентов в час. Среднее время обслуживания составляет 20 мин. Определить показатели работы СМО.

9.4 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

Вопросы к Разделу 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СХЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И СИСТЕМ

1. Дайте определение модели как объекта познания.
2. Чем отличается классический и системный подходы в моделировании.

3. Перечислите основные проблемы моделирования процессов и систем.
4. Классификация моделей по степени подобия реальным объектам.
5. Классификация моделей по характеру моделируемых процессов.
6. При каких условиях целесообразно использование аналитических и имитационных моделей?
7. Чем отличаются наглядные и символические модели?
8. Назовите этапы построения модели?
9. Как оценить адекватность построенных моделей?
10. Дать определение конечного автомата.
11. Чем отличаются конечные автоматы Мили и Мура?
12. Сформулируйте правило работы конечного автомата.
13. Назовите особенности построения модели причинно-следственных связей.
14. Назовите условия срабатывания переходов в модели причинно-следственных связей.
15. Что отражает целевая функция в модели линейного программирования?
16. Дайте определение модели динамического программирования.
17. В чем отличия моделей линейного и динамического программирования?
18. Какой поток событий называется простейшим пуассоновским потоком?
19. Назовите основные свойства простейшего пуассоновского потока случайных событий.
20. Сформулируйте правило вывода системы дифференциальных уравнений для вероятностей состояний.

Вопросы к Разделу 2. ВЕРОЯТНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. Какой случайный процесс называется марковским?
2. Что представляет собой граф состояний системы?
3. Дайте определение эргодической системы.
4. Что такое марковская цепь?
5. Дайте определение вероятностей состояний и переходных вероятностей.
6. Какая марковская цепь называется однородной?
7. Приведите формулы для вычислений вероятностей состояний для однородной марковской цепи.
8. Какая марковская цепь называется неоднородной?
9. Приведите формулы для вычислений вероятностей состояний для неоднородной марковской цепи на n -ом шаге.

10. Дайте определение марковского дискретного процесса с непрерывным временем, а также плотности вероятности перехода системы из одного состояния в другое.
11. Дайте определение однородного и неоднородного марковского дискретного процесса с непрерывным временем.
12. Система дифференциальных уравнений Колмогорова.
13. Основные характеристики пуассоновского стационарного потока.
14. Основные характеристики пуассоновского нестационарного потока.
15. Потоки Пальма и Эрланга, и их применение.
16. Чем характеризуется финальный стационарный режим протекания случайного процесса в системе?
17. Дайте определение финальных вероятностей состояний системы.
18. Регулярная марковская цепь. Достаточные условия существования финальных вероятностей.
19. Какие системы называются СМО?
20. Как классифицируются СМО по признаку их организации?
21. Какие СМО называются системами с отказами, а какие – с ожиданием?
22. Что происходит с заявкой, поступившей в момент времени, когда все каналы обслуживания заняты?
23. Что рассматривают в качестве меры эффективности экономической системы массового обслуживания?
24. Какие исходные данные необходимы для моделирования СМО?
25. Что включают основные параметры для моделирования СМО?
26. Чем характеризуются потоки заявок на обслуживание?
27. Чем характеризуются механизмы обслуживания?
28. Что необходимо для построения графа состояний СМО?
29. Что представляет собой граф состояний СМО со схемой «гибели и рождения»?
30. По какому общему правилу вычисляется вероятность любого состояния СМО?

Вопросы к Разделу 3. МЕТОДОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Какие существуют основные парадигмы (направления) имитационного моделирования, в чем их особенности (кратко)?
2. В чем суть системно-динамического моделирования? Перечислите основные архетипы системной динамики.

3. Расскажите о методе Монте-Карло. Как реализуется стохастический эксперимент в системах имитационного моделирования?
4. Опишите критерий Колмогорова-Смирнова? Чем он полезен в стохастических имитационных моделях.
5. Перечислите основные функции распределения случайных величин, используемые в стохастических экспериментах. Опишите процедуру подготовки данных для проведения стохастического эксперимента.
6. Опишите принцип работы генетического алгоритма.
7. В чем назначение операторов кроссинговера и мутации в генетическом алгоритме? Что такое популяция в генетическом алгоритме?
8. Дайте определения особи, хромосомы и популяции для генетического алгоритма. Каковы критерии останова генетического алгоритма.
9. В чем суть агентного моделирования? Какое значение имеет карта состояний в агентном моделировании?
10. Как при мультиагентном моделировании реализуется взаимодействие агентов друг с другом и внешней средой?
11. Чем отличается непрерывное и дискретное моделирование систем? Чем отличается системно-динамическое моделирование от моделирования сложных динамических систем?
12. В чем суть дискретно-событийного моделирования? Опишите принципы проектирования моделей массового обслуживания.

Вопросы к Разделу 4. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Какие парадигмы имитационного моделирования поддерживаются в системах PowerSim и AnyLogic соответственно?
2. Опишите основные характеристики модели (проекта) в PowerSim, в частности, каким образом задается модельное время, количество «прогонов» модели, и др.
3. Как с помощью PowerSim решаются задачи по оценки рисков и оптимизации?
4. Как PowerSim интегрируется с внешними источниками данных (MS Excel и СУБД)? Опишите механизм интеграции системы имитационного моделирования с информационным Хранилищем.
5. Что такое PowerSim SDK? Опишите основные возможности PowerSim SDK по интеграции имитационной модели с внешними приложениями.

6. Опишите процедуру создания мультиагентной модели в AnyLogic. Что такое стейтчарт?
7. Опишите принципы проектирования иерархических (компонентных) моделей в Powersim. Как обеспечивается информационная связь между показателями, относящимися к разным компонентам (уровням иерархии)?
8. Опишите процедуру публикации модели AnyLogic в WEB. В чем отличие механизма работы модели AnyLogic в виде Java-апплета от Java-приложения. Как можно использовать RMI?
9. Опишите процедуру создания анимационных имитационных моделей на AnyLogic. Как можно управлять пространственной динамикой объектов?

Вопросы к Разделу 5. ТИПОВЫЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРИМЕРЫ

1. Объясните разницу между усиливающим и уравнивающим циклом. Сколько будет потребителей в модели Басса на момент окончания моделирования, если интенсивность общения равна нулю?
2. Как моделируются случайные процессы? Моделирование случайных величин с усечённым нормальным распределением. Основные характеристики случайных величин с усечённым нормальным распределением.
3. Проверка существенности факторов и показатели качества регрессии. Метод наименьших квадратов (МНК). Свойства оценок на основе МНК.
4. Временные ряды. Моделирование временных рядов с применением фиктивных переменных. Автокорреляция уровней временного ряда. Прогнозирование экономических показателей, основанное на использовании динамических моделей временных рядов. Модели с распределенным лагом и модели авторегрессии.
5. Алгоритм обратного распространения ошибки. Проблемы обучения: ошибка аппроксимации; переобучение; ошибка, связанная со сложностью модели. Оптимизация размера сети. Адаптивная оптимизация архитектуры сети. Валидация обучения. Ранняя остановка обучения.

10 Порядок формирования итоговой оценки по дисциплине

Формирование оценок по учебной дисциплине производится в соответствии с положением об организации промежуточной аттестации и текущего контроля успеваемости студентов, утвержденного Ученым советом НИУ ВШЭ от 27.06.2014, протокол №5.

В соответствии с Рабочим учебным планом, формами текущего контроля являются контрольная работа и домашнее задание. Каждая из форм текущего контроля оценивается по

10-балльной шкале. Общая оценка за текущий контроль (по 10-балльной шкале) рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{текущий}} = 0,4 \cdot O_{\text{кр}} + 0,6 \cdot O_{\text{дз}},$$

где $O_{\text{кр}}$ – оценка за контрольную работу;

$O_{\text{дз}}$ – оценка за домашнее задание.

При определении накопленной оценки (по 10-балльной шкале) аудиторная работа и самостоятельная внеаудиторная работа не оцениваются. Поэтому накопленная оценка совпадает с оценкой за текущий контроль и рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{накопленная}} = 1,0 \cdot O_{\text{текущий}} + 0,0 \cdot O_{\text{ауд}} + 0,0 \cdot O_{\text{сам.работа}},$$

где $O_{\text{текущий}}$ – оценка за текущий контроль;

$O_{\text{ауд}}$ – оценка за аудиторную работу;

$O_{\text{сам.работа}}$ – оценка за самостоятельную работу.

Результирующая оценка (выставляется в диплом) формируется на основе итоговой оценки за экзамен (по 10-балльной шкале) и накопленной оценки. Результирующая оценка рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{результ}} = 0,3 \cdot O_{\text{экз}} + 0,7 \cdot O_{\text{накопленная}},$$

где $O_{\text{экз}}$ – оценка за итоговый контроль (экзамен);

$O_{\text{накопленная}}$ – накопленная оценка.

При формировании оценок на основе весовых коэффициентов применяется арифметическое округление до целого числа. В случае точного равенства дробной части пяти десятым округление применяется в большую сторону.

11 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

11.1 Базовые учебники

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983.

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985.

Акопов А.С. Имитационное моделирование. Учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2015.

Яковлев С.А. Моделирование систем: Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб и доп. / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2001 – 343 с.

11.2 Основная литература

Боев В.Д. Компьютерное моделирование: Пособие для практических занятий, курсового и дипломного проектирования в AnyLogic7. – СПб.: ВАС, 2014. – 432 с.

Венцель Е.С. Исследование операций – М.: Радио и связь, 1986 – 358 с.

Емельянов А.А. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Финансы и статистика, 2009.

Лабскер Л.Г. Вероятностное моделирование в финансово-экономической области – М.: Альпина Паблшер, 2002.

Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. СПб: Питер, ВHV, 2004.

Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. М.: Инфра-М, 2012.

Рожков М.И. Разработка имитационных моделей управления запасами в цепях поставок. – М.: НИУ ВШЭ. – 2011.

Чернов В.П., Ивановский В.Б. Теория массового обслуживания. М.: Инфра-М, 2000.

Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон; пер. с англ. под ред. Е. К. Масловского. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

11.3 Дополнительная литература

Бахтизин А.Р. Агент-ориентированные модели экономики. – М.: Экономика, 2008.

Брускин С.Н., Довженко А.Ю., Николаенко В.А. Интеллектуальный анализ динамики бизнес-систем. Учебник. – М: Инфра-М, 2010.

Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988 – 453 с.

Войтишек А.В., Михайлов Г.А. Численное статистическое моделирование: Методы Монте-Карло: Учебное пособие для вузов. М.: ИЦ Академия, 2006.

Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. – М: Физматлит, 2003. – 432 с.

Интрилигейтор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория – М: Айрис-Пресс, 2002. – 553 с.

Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие; 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Ю. Каталевский. – М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2015. – 496 с.

Колемаев В.А. Математическая экономика – М.: Юнити-Дана, 2005.

Куприяшкин А.Г. Основы моделирования систем: учеб. пособие / А.Г. Куприяшкин; Норильский индустр. ин-т. – Норильск: НИИ, 2015. – 135 с.

Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М: Физматлит, 2006. – 272 с.

Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б., Подлазов А. В. Нелинейная динамика: подходы, результаты, надежды. М.: УРСС, 2006.

Моделирование информационных систем: учебное пособие / под ред. О. И. Шелухина. – М.: Радиотехника, 2005. – 368 с.

Сидоренко В.Н. Системно-динамическое моделирование в среде Powersim. М.: МАКС Пресс, 2001.

Спирли Э. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка и реализация. Т.1. – М: Вильямс, 2001.

Таха Х.А. Системы массового обслуживания // Введение в исследование операций – 7-е изд. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 629-697.

Тихонов А.Н. Вводные лекции по прикладной математике: учебное пособие / А.Н. Тихонов, Д.П. Костомаров. – М.: Наука, 1984. – 190 с.

Тихонов В.И. Марковские процессы / В.И. Тихонов, М.А. Миронов. – М.: Советское радио, 1977. – 488 с.

Фомин Г.П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности. М.: Финансы и статистика, 2000.

Форрестер Дж. Мировая динамика. М., АСТ, 2003.

Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия, М, Прогресс, 1970.

Bielajew A.F. Fundamentals of the Monte Carlo method for neutral and charged particle transport, Michigan, 2001.

Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – Springer, 2001.

Ivanov D. Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7: Decision-oriented introductory notes for master students. 2nd Edition, E-Textbook, Berlin School of Economics and Law (preprint). 2017.

Meadows D.H. Limits to Growth. New York: University books, 1972.

Mitchell T. Machine Learning. – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1997.

Sterman J. Business Dynamics. Irwin McGraw-Hill, 2000.

Yoav S., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press, 2009.

11.4 Программные средства

Для подготовки практических задач, докладов и выступлений студентами используется современная учебно-лабораторная база, в том числе:

- стандартные пакеты прикладных программ офисного назначения, в том числе:
 - информационные системы подготовки текстов (Microsoft Word);
 - системы электронных таблиц (Microsoft Excel);
 - системы подготовки презентаций (Microsoft PowerPoint);
- профессиональные информационные системы, в том числе:
 - MatLab;
 - AnyLogic PLE;
 - PowerSim Studio;
 - Microsoft Power BI;
 - Microsoft SQL Server.

11.5 Дистанционная поддержка дисциплины

Система LMS.

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Используются персональный компьютер (ноутбук) и проектор для проведения лекций и практических занятий, техническое оснащение компьютерных классов.

Авторы программы:

/ _____ /

А.Л. Бекларян