

Программа учебной дисциплины «Имитационное моделирование финансово-экономических систем»

Утверждена
Академическим советом ООП
Протокол № 2.03-09/2706-01 от «27» июня 2018г.

Автор	Бекларян Армен Леонович
Число кредитов	5
Контактная работа (час.)	44
Самостоятельная работа (час.)	146
Курс	1
Формат изучения дисциплины	без использования онлайн курса

I. ЦЕЛЬ, РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРЕРЕКВИЗИТЫ

Целью освоения учебной 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.

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.;
- основные классы и принципы построения информационных систем, применяемых для практической реализации методов имитационного моделирования.

уметь:

- применять системы имитационного моделирования для решения задач прогнозирования, сценарного (ситуационного) моделирования и анализа, интеллектуальной обработки данных, поиска оптимальных управленческих решений, оценки влияния рисков.

владеть:

- навыками разработки имитационных моделей, основанных на использовании современных методов имитационного моделирования и интегрированных с различными источниками данных.

Изучение дисциплины «Имитационное моделирование финансово-экономических систем» 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 решения: алгоритмы обработки больших данных.

II. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 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.

Тема 2. Схемы моделирования процессов и систем

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

Тема 3. 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.

Тема 4. 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.

Тема 5. 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 в пакете PySD.

Тема 6. 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.

Тема 7. 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 в пакете Mesa.

Тема 8. 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 в пакете SimPy.

Тема 9. 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.

Тема 10. 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. Примеры моделей на AnyLogic.

Тема 11. 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.

Тема 12. Промышленные примеры

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

III. ОЦЕНИВАНИЕ

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) самостоятельная вне-аудиторная работа не оцениваются. Поэтому накопленная оценка формируется из оценки за текущий контроль и оценки за работу на аудиторных занятиях, и рассчитывается по формуле:

$$O_{\text{накопленная}} = 0,8 \cdot O_{\text{текущий}} + 0,2 \cdot O_{\text{ауд}} + 0,0 \cdot O_{\text{сам.работа}},$$

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

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

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

Оценка за аудиторную работу выставляется на основе пропорции посещаемости студента к общему числу проведенных занятий, исходя из максимума в 10 баллов.

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

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

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

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

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

IV. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

4.1 Содержание заданий контроля

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

Аудиторная контрольная работа предполагает решение конкретной задачи имитационного моделирования в компьютерном классе.

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

4.2 Тематика заданий для домашней и контрольной работ

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

4.3 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.

4.4 Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

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.
21. Какой случайный процесс называется марковским?
22. Что представляет собой граф состояний системы?
23. Дайте определение эргодической системы.
24. Что такое марковская цепь?
25. Дайте определение вероятностей состояний и переходных вероятностей.
26. Какая марковская цепь называется однородной?
27. Приведите формулы для вычислений вероятностей состояний для однородной марковской цепи.
28. Какая марковская цепь называется неоднородной?
29. Приведите формулы для вычислений вероятностей состояний для неоднородной марковской цепи на i -ом шаге.
30. Дайте определение марковского дискретного процесса с непрерывным временем, а также плотности вероятности перехода системы из одного состояния в другое.
31. Дайте определение однородного и неоднородного марковского дискретного процесса с непрерывным временем.
32. Система дифференциальных уравнений Колмогорова.
33. Основные характеристики пуассоновского стационарного потока.
34. Основные характеристики пуассоновского нестационарного потока.
35. Потоки Пальма и Эрланга, и их применение.

36. Чем характеризуется финальный стационарный режим протекания случайного процесса в системе?
37. Дайте определение финальных вероятностей состояний системы.
38. Регулярная марковская цепь. Достаточные условия существования финальных вероятностей.
39. Какие системы называются СМО?
40. Как классифицируются СМО по признаку их организации?
41. Какие СМО называются системами с отказами, а какие – с ожиданием?
42. Что происходит с заявкой, поступившей в момент времени, когда все каналы обслуживания заняты?
43. Что рассматривают в качестве меры эффективности экономической системы массового обслуживания?
44. Какие исходные данные необходимы для моделирования СМО?
45. Что включают основные параметры для моделирования СМО?
46. Чем характеризуются потоки заявок на обслуживание?
47. Чем характеризуются механизмы обслуживания?
48. Что необходимо для построения графа состояний СМО?
49. Что представляет собой граф состояний СМО со схемой «гибели и рождения»?
50. По какому общему правилу вычисляется вероятность любого состояния СМО?
51. Какие существуют основные парадигмы (направления) имитационного моделирования, в чем их особенности (кратко)?
52. В чем суть системно-динамического моделирования? Перечислите основные архетипы системной динамики.
53. Расскажите о методе Монте-Карло. Как реализуется стохастический эксперимент в системах имитационного моделирования?
54. Опишите критерий Колмогорова-Смирнова? Чем он полезен в стохастических имитационных моделях.
55. Перечислите основные функции распределения случайных величин, используемые в стохастических экспериментах. Опишите процедуру подготовки данных для проведения стохастического эксперимента.
56. Опишите принцип работы генетического алгоритма.
57. В чем назначение операторов кроссинговера и мутации в генетическом алгоритме? Что такое популяция в генетическом алгоритме?
58. Дайте определения особи, хромосомы и популяции для генетического алгоритма. Каковы критерии останова генетического алгоритма.
59. В чем суть агентного моделирования? Какое значение имеет карта состояний в агентном моделировании?
60. Как при мультиагентном моделировании реализуется взаимодействие агентов друг с другом и внешней средой?
61. Чем отличается непрерывное и дискретное моделирование систем? Чем отличается системно-динамическое моделирование от моделирования сложных динамических систем?
62. В чем суть дискретно-событийного моделирования? Опишите принципы проектирования моделей массового обслуживания.
63. Какие парадигмы имитационного моделирования поддерживаются в системах PowerSim и AnyLogic соответственно?

64. Опишите основные характеристики модели (проекта) в PowerSim, в частности, каким образом задается модельное время, количество «прогонов» модели, и др.
65. Как с помощью PowerSim решаются задачи по оценки рисков и оптимизации?
66. Как PowerSim интегрируется с внешними источниками данных (MS Excel и СУБД)? Опишите механизм интеграции системы имитационного моделирования с информационным Хранилищем.
67. Что такое PowerSim SDK? Опишите основные возможности PowerSim SDK по интеграции имитационной модели с внешними приложениями.
68. Опишите процедуру создания мультиагентной модели в AnyLogic. Что такое стейт-чарт?
69. Опишите принципы проектирования иерархических (компонентных) моделей в Powersim. Как обеспечивается информационная связь между показателями, относящимися к разным компонентам (уровням иерархии)?
70. 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?
71. Опишите процедуру создания анимационных имитационных моделей на AnyLogic. Как можно управлять пространственной динамикой объектов?
72. Объясните разницу между усиливающим и уравнивающим циклом. Сколько будет потребителей в модели Басса на момент окончания моделирования, если интенсивность общения равна нулю?
73. Как моделируются случайные процессы? Моделирование случайных величин с усечённым нормальным распределением. Основные характеристики случайных величин с усечённым нормальным распределением.
74. Проверка существенности факторов и показатели качества регрессии. Метод наименьших квадратов (МНК). Свойства оценок на основе МНК.
75. 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.
76. Алгоритм обратного распространения ошибки. Проблемы обучения: ошибка аппроксимации; переобучение; ошибка, связанная со сложностью модели. Оптимизация размера сети. Адаптивная оптимизации архитектуры сети. Валидация обучения. Ранняя остановка обучения.

V. РЕСУРСЫ

5.1 Основная литература

1. Акопов А.С. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / А.С. Акопов. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 389 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/E3D823D8-EC6B-46A6-91E6-6B9224EDB9FE.
2. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учеб. пособие для прикладного бакалавриата / В.Д. Боев. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 253 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/4605D6F4-2653-4DCA-A2D7-894E63619792.
3. Королев А.В. Экономико-математические методы и моделирование: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А.В. Королев. – М.: Издательство Юрайт,

2017. – 280 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/9E8129B4-DA54-4517-A492-1B8DCFE961F0.

4. Советов Б.Я. Моделирование систем: учебник для академического бакалавриата / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – 7-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 343 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/F4218D80-CDF9-468E-B54B-3964246A473E.

5.2 Дополнительная литература

1. Боев В.Д. Моделирование в среде anylogic: учеб. пособие для вузов / В.Д. Боев. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 298 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/F3611094-9FF6-4D43-BE8D-4ABA18CAB846.
2. Вьюненко Л.Ф. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата / Л.Ф. Вьюненко, М.В. Михайлов, Т.Н. Первозванская; под ред. Л.Ф. Вьюненко. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 283 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/BEE05A5A-1AB0-4A08-ADB1-70BC357B6C20.
3. Управление запасами в цепях поставок в 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В.С. Лукинский [и др.]; под общ. ред. В.С. Лукинского. – М.: Издательство Юрайт, 2017. – 307 с. Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/EAF3633A-CC68-4F06-A42F-1BC71E5BD5BE.

5.3 Программное обеспечение

№ п/п	Наименование	Условия доступа
1.	Microsoft Windows 7 Professional или более новая версия	Из внутренней сети университета (договор)
2.	Microsoft Office Professional Plus 2013 или более новая версия	Из внутренней сети университета (договор)
3.	Microsoft SQL Server 2014 Enterprise Edition или более новая версия	Из внутренней сети университета (договор)
4.	Microsoft Power BI	Свободно распространяемое ПО
5.	JDK 8	Свободно распространяемое ПО
6.	Notepad++	Свободно распространяемое ПО
7.	R 3.1.2 или более новая версия	Из внутренней сети университета (договор)
8.	RStudio	Из внутренней сети университета (договор)
9.	Anaconda 3 x64	Из внутренней сети университета (договор)
10.	Faronics Insight	Из внутренней сети университета (договор)
11.	SQL Server Data Tools 2015 или более новая версия	Из внутренней сети университета (договор)
12.	AnyLogic PLE	Из внутренней сети университета (договор)
13.	PowerSim Studio 10	Из внутренней сети университета (договор)

5.4 Профессиональные базы данных, информационные справочные системы, интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)

№ п/п	Наименование	Условия доступа
	<i>Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы</i>	
1.	Электронно-библиотечная система Юрайт	URL: https://biblio-online.ru/
	<i>Интернет-ресурсы (электронные образовательные ресурсы)</i>	
1.	Веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки	URL: https://github.com

5.5 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебные аудитории для лекционных занятий по дисциплине обеспечивают использование и демонстрацию тематических иллюстраций, соответствующих программе дисциплины в составе:

- ПЭВМ с доступом в Интернет (операционная система, офисные программы, антивирусные программы);
- мультимедийный проектор с дистанционным управлением.

Учебные аудитории для лабораторных и самостоятельных занятий по дисциплине оснащены ПЭВМ, с возможностью подключения к сети Интернет и доступом к электронной информационно-образовательной среде НИУ ВШЭ, а также с установленным требуемым программным обеспечением, в количестве одна единица на каждого слушателя дисциплины.