

**Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего образования
«ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»
(Финансовый университет)**

**Кафедра «Системный анализ в экономике»
Факультета информационных технологий и анализа больших данных**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и
методической работе

Е.А. Каменева
19 апреля 2024 г.

Ю.А. Кораблев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рабочая программа дисциплины
для студентов, обучающихся по направлению подготовки:
01.03.02 «Прикладная математика и информатика»,
профиль: Прикладное машинное обучение

*Рекомендовано Ученым советом факультета
информационных технологий и анализа больших данных
(протокол № 43 от 16 апреля 2024 г.)*

*Одобрено кафедрой «Системный анализ в экономике»
(протокол № 07 от 21 марта 2024 г.)*

Москва 2024

Содержание

1. Наименование дисциплины.....	3
2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине.....	3
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
4. Объем дисциплины в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся (в семестре, в сессию).....	4
5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий.....	4
5.1. Содержание дисциплины.....	4
5.2. Учебно-тематический план.....	9
5.3 Содержание семинаров, практических занятий.....	10
6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	13
7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	20
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	28
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	28
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	29
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем.....	30
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	31

1. Наименование дисциплины.

«Математическое и имитационное моделирование»

2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (умения и знания), соотнесенные с индикаторами достижения компетенции
ПКН-2	Способен с помощью математической модели решать поставленную теоретическую или практическую задачу, реализовывая алгоритм решения в виде программного модуля	1. Демонстрирует знание базовых математических моделей, применяемых в различных предметных областях.	Знать. Способы моделирования сложных систем с помощью математических методов на основе марковских процессов и с помощью имитационного моделирования на основе дискретно-событийного, непрерывного или агентно-ориентированного моделирования. Уметь. Моделировать сложные системы с помощью математического и имитационного моделирования, собирать статистику об интересующих характеристиках, строить анимированные 3D презентации моделей
		2. Адаптирует и применяет существующие математические модели для решения поставленной прикладной или теоретической задачи.	Знать. Основные методы оптимизации, применяемые в имитационном моделировании и способы сравнения альтернативных конфигураций систем. Уметь. Разрабатывать имитационные модели и проводить эксперименты на них для получения дополнительной информации.
		3. Владеет методологией математического моделирования для решения профессиональных задач.	Знать. Особенности и различия математического и имитационного моделирования, методологию и этапы исследования систем с помощью имитационного моделирования. Уметь. Строить математические и имитационные модели, собирать статистику, рассчитывать выходные характеристики, проводить эксперименты и выбирать лучшую из конфигураций систем.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Математическое и имитационное моделирование» относится к общефакультетскому (предпрофильному) циклу.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах и в академических часах с выделением объема аудиторной (лекции, семинары) и самостоятельной работы обучающихся

Виды учебной работы по дисциплине	Всего (в з/е и часах)	Семестр
		6
Общая трудоёмкость дисциплины	4/144	144
<i>Контактная работа - Аудиторные занятия</i>	50	50
<i>Лекции</i>	16	16
<i>Семинары, практические занятия</i>	34	34
Самостоятельная работа	94	94
Вид текущего контроля	Контрольная работа	Контрольная работа
Вид промежуточной аттестации	Экзамен	Экзамен

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) дисциплины с указанием их объемов (в академических часах) и видов учебных занятий.

5.1. Содержание дисциплины

Раздел 1. Математическое моделирование

1.1. Марковский дискретный процесс с дискретным временем

Множество состояний системы, граф состояний, ориентированный граф, переход между состояниями, состояние источник, конечное (поглощающее) состояние, транзитивное состояние, изолированное состояние, замкнутое (концевое) подмножество состояний, эргодическое (связанное) подмножество состояний, транзитивное подмножество состояний. Вероятности состояний в дискретные моменты времени. Вероятности перехода. Вероятность задержки в состоянии. Определение марковского процесса. Пример марковского и не марковского процесса. Матрица переходов. Однородная и неоднородная цепь Маркова. Начальное распределение вероятности состояний.

Задачи, решаемые с помощью однородных марковских цепей с дискретным временем:

1. нахождение вероятности перехода из состояния i в состояние j за k шагов;
2. нахождение вероятностей состояний на k -том шаге;
3. нахождение вероятности первого перехода из состояния i в состояние j за k шагов, нахождение вероятности перехода из состояния i в состояние j не более чем за k шагов, нахождение среднего времени (количества шагов) для перехода из состояния i в состояние j ;
4. нахождение вероятности первого возвращения в состояние за k шагов, нахождение ожидаемого времени (количества шагов) возвращения;
5. установившийся (стационарный) режим, условия, нахождение установившихся (предельных) вероятностей состояний, поток вероятности, монотоническое правило, нахождение установившихся вероятностей с помощью матричных операций.

Формулы для решения этих задач в условиях неоднородных цепей Маркова, когда вероятности переходов зависят от номера шага.

Примеры моделирования финансовых, экономических или информационных процессов с помощью марковских процессов с дискретным временем.

1.2. Потоки событий

Экспоненциальный и Пуассоновский закон распределения, плотность распределения, функция распределения, математическое ожидание и дисперсия. Потоки событий. Однородные и не однородные потоки событий. Регулярный поток событий. Ординарный поток. Интенсивность потока. Ожидаемое число событий за интервал времени. Отсутствие последствия. Пуассоновский поток. Стационарность потока. Простейший поток. Поток с ограниченным последствием. Поток Пальма.

Свойства потоков Пальма:

1. Определение вероятности случайной точки попасть на интервал заданной ширины, плотность вероятности длины интервала, на который попала случайная точка. Математическое ожидание и дисперсия.
2. Определение закона распределения для времени прошедшего после последнего события и времени оставшегося до следующего события в момент выпадения случайной точки. Математическое ожидание и дисперсия.
3. Определение закона распределения для времени, оставшегося до следующего события при условии, что известно время, прошедшее с предыдущего события. Определение закона распределения для времени, прошедшего с предыдущего события, при условии, что известно время до следующего события.

Примеры использования свойств потока Пальма для решения экономических задач.

Придельные теоремы теории потоков, сложение большого количества произвольных потоков, многократное случайное разряжение произвольного потока.

1.3. Марковский дискретный процесс с непрерывным временем

Переход из состояния в состояние. Вероятность того, что за малое время Δt произойдет событие. Граф состояний. Матрица интенсивностей. Уравнения Колмогорова. Поток вероятности. Мнемоническое правило составления уравнений Колмогорова. Однородный и неоднородный марковский процесс. Пример определения вероятности нахождения в состоянии с помощью программной реализации численных методов. Установившийся (стационарный) режим и установившиеся (предельные) вероятности состояний. Условия стационарного режима. Поиск установившихся вероятностей из уравнений Колмогорова. Матричный способ.

Соотношение среднего времени однократного нахождения системы в состоянии и вне состояния с вероятностью этого состояния. Среднее время однократного нахождения в состоянии при стационарных и нестационарных интенсивностях потоков событий. Обратная задача, нахождение интенсивности потока при известном распределении времени однократного нахождения в состоянии. Время однократного пребывания системы в подмножестве состояний. Примеры экономических задач.

1.4. Математическое моделирование систем массового обслуживания

Системы массового обслуживания. Из чего состоит СМО. Характеристики эффективности СМО. Задача теории СМО. Многоканальная СМО с ожиданием. Схема гибели и размножения. Система уравнений Колмогорова. Пример. Нахождение установившихся вероятностей. Вероятность отказов. Относительная и абсолютная пропускная способность. Определение средней длины очереди. Формулы Литтла. Определение среднего времени в очереди. Определение среднего количества занятых каналов. Определение среднего времени простоя системы.

СМО с покиданием очереди. СМО с ошибками в обслуживании. Замкнутые СМО. Граф состояний и отличия от классических СМО. СМО с не Пуассоновскими потоками событий, метод псевдосостояний. СМО с взаимопомощью, дисциплина взаимопомощи.

Примеры экономических задач.

Раздел 2. Имитационное моделирование

I. Теоретическая часть

2.1. Введение в имитационное моделирование

Место имитационного моделирования среди множества других методов исследования. Классификация имитационных моделей. Дискретно-событийное

моделирование. Агрегативные модели. Непрерывные модели. Модели системной динамики. Статические модели и метод Монте-Карло. Агентно-ориентированные модели.

Законы распределения плотности вероятности случайных величин, наиболее часто встречающихся в имитационном моделировании.

2.2. Техническая сторона имитационного моделирования.

1. Генераторы случайных чисел. Особенности способов получения случайных чисел: табличный, физический и программный способ. Метод средних квадратов. Недостатки. Линейный конгруэнтный генератор. Теорема о трех условиях для того, чтобы генератор обладал полным периодом. Конгруэнтный генератор с простым модулем. Механизм уклонения от явного деления. Многократные рекурсивные генераторы и сложные генераторы.

2. Моделирование законов распределения. Метод обратного преобразования (обратной функции). Получение дискретных распределений методом обратной функции. Недостатки и достоинства метода обратной функции. Генерирование усеченного распределения с помощью метода обратной функции. Метод композиции для генерирования сложных законов распределения. Метод принятия-отклонения для получения произвольных законов распределения. Специальные свойства и метод свертки для генерирования случайных величин. Генерирование стандартного нормального закона распределения. Изменение параметров законов распределения случайных величин, сдвиг и растяжение.

3. Требования к генераторам случайных чисел и способы тестирования законов распределения. Распределения Хи-квадрат, Стьюдента, Фишера. Критерий Пирсона проверки соответствия статистических данных заданному теоретическому распределению. Критерий Колмогорова проверки соответствия статистических данных заданному теоретическому распределению. Тестирование генераторов случайных чисел на равномерность заполнения многомерного пространства. Тестирование генераторов случайных чисел на независимость случайных величин.

4. Моделирование систем массового обслуживания. Начало и окончание работы системы массового обслуживания. Основные критерии оценки работы системы массового обслуживания. Моделирование стационарного и нестационарного Пуассоновского процесса поступления заявок на обслуживание. Моделирование не Пуассоновского процесса поступления. Сравнение аналитического решения СМО с решением, полученным с помощью имитационного моделирования.

2.3. Методология моделирования.

1. Схема этапов исследования систем с помощью имитационного моделирования. Краткое описание содержания этапов при исследовании систем с помощью имитационного моделирования.

2. Адекватность модели исследуемой системе. Определение адекватности модели и схема обеспечения адекватности модели. Валидация концептуальной модели. Верификация компьютерной модели. Валидация компьютерной модели и результатов моделирования.

3. Планирование экспериментов. Виды факторов и отклики. Факторный план 2^k и эффекты факторов. Факторный план 2^{k-p} с дробными репликами. Сверхнасыщенные планы и отсеивание факторов. Метамодел.

4. Методы оптимизации, используемые в имитационном моделировании при поиске лучшей комбинации параметров. Градиентные методы. Метод Нелдера-Мида. Решение проблемы множества локальных оптимумов (случайный поиск, поиск на сетке, генетические алгоритмы, рассеянный поиск).

5. Анализ альтернативных конфигураций систем. Метод общих случайных чисел. Проблема синхронизации случайных чисел. Доверительные интервалы при сравнении конфигураций систем. Выбор лучшей из множества конфигураций систем с заданной вероятностью правильного выбора и заданной величиной безразличия.

II. Практическая часть

2.4. Дискретно-событийное моделирование в Anylogic.

Построение простейшей модели. Сбор и вывод статистики. Построение графиков и диаграмм. Создание новых типов агентов. Создание анимированной презентации модели. Создание и настройка оптимизационного эксперимента.

2.5. Сбор и визуализация статистики в Anylogic.

Встроенные законы распределения. Эмпирические законы распределения. Создание нестандартного закона распределения. Вывод на экран автоматически собираемой статистики. Самостоятельная организация сбора статистики. Элементы сбора и визуализации данных, гистограммы и временные графики. Объединение и разделение статистики по разным выборкам. Обеспечение синхронизации случайных чисел при сравнении альтернативных конфигураций с помощью пользовательских генераторов случайных чисел.

2.6. Создание анимированных презентаций в Anylogic

Построение 2D и 3D анимированных презентаций. Элементы разметки пространства. Блоки, отвечающие за движение объектов. Динамическое изменение формы и цвета объектов. Работа с областью просмотра, положением камеры и источников освещения. Создание презентации с разными уровнями (этажами).

2.7. Непрерывные модели и модели системной динамики в Anylogic.

Классические модели системной динамики и произвольный режим ввода дифференциального уравнения. Непрерывные модели. Непрерывная модель Хищник-Жертва. Моделирование финансовых и материальных потоков. Модели физических процессов. Создание дискретных событий и изменение уровней накопителей при определенных условиях. Построение презентаций непрерывных моделей.

2.8. Агентно-ориентированные модели в Anylogic.

Популяции агентов. Диаграммы состояния агентов. Состояния, переходы, переменные, функции и события. Добавление новых и удаление старых агентов из популяции. Сбор статистики по популяции агентов. Функции moveTo и jumpTo. Построение анимированной агентно-ориентированной модели. Агентно-ориентированная модель Хищник-Жертва. Сбор статистики.

2.9. Специальные виды моделей в Anylogic.

Библиотека производственных систем. Пешеходная библиотека. Железнодорожная библиотека. Библиотека дорожного движения. Библиотека моделирования потоков (движения жидкостей).

5.2. Учебно-тематический план

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Трудоемкость в часах					Форма те- кущего контроля успеваемо- сти
		Всего	Контактная работа* - Аудиторная работа			Самос- стоя- тельная работа	
			Общая, в т.ч.:	Лекции	Семинары, практические занятия		
Раздел 1. Математическое моделирование							
1.1	Марковский дискретный процесс с дискретным временем	12	6	2	4	6	Решение ситуацион- ных задач
1.2	Потоки событий	11	3	2	1	8	
1.3	Марковский дискретный процесс с непрерывным временем	11	3	2	1	8	
1.4	Математическое моделирование систем массового обслуживания	10	4	2	2	6	
Раздел 2. Имитационное моделирование							
I. Теоретическая часть							

2.1	Введение в имитационное моделирование	8	2	2	0	6	Опрос
2.2	Техническая сторона имитационного моделирования	15	3	3	0	12	
2.3	Методология моделирования	13	3	3	0	10	
II. Практическая часть							
2.4	Дискретно-событийное моделирование в Anylogic	12	6	0	6	6	Решение практико-ориентированных заданий
2.5	Сбор и визуализация статистики в Anylogic	10	4	0	4	6	
2.6	Создание анимированных презентаций в Anylogic	10	4	0	4	6	
2.7	Непрерывные модели и модели системной динамики в Anylogic	10	4	0	4	6	
2.8	Агентно-ориентированные модели в Anylogic	10	4	0	4	6	
2.9	Специальные виды моделей в Anylogic	12	4	0	4	8	
В целом по дисциплине		144	50	16	34	94	Согласно учебному плану: контрольная работа
Итого в %		100	35	32	68	65	-

*объем контактной работы в очно-заочной/заочной формах обучения и индивидуальных учебных планах определяется соответствующими учебными планами. Темы, реализуемые в виде контактной работы, определяются преподавателем самостоятельно, исходя из уровня их сложности.

5.3. Содержание семинаров, практических занятий

№ Темы	Тематика практических/семинарских занятий	Перечень вопросов для обсуждения на семинарских, практических занятиях, рекомендуемые источники из разделов 8,9	Формы проведения занятий
Раздел 1. Математическое моделирование			
1.1.	Марковский дискретный процесс с	С помощью языков программирования, либо в прикладных статистических пакетах строятся подпрограм-	Работа за компьютером

	дискретным временем	мы или алгоритмы для автоматического расчета по формулам, пройденным на лекциях. По словесной формулировке функционирования некоторой системы строится граф состояний, строится матрица переходных вероятностей, применяются полученные ранее подпрограммы или алгоритмы для автоматического расчета искомых характеристик. Рекомендуемые источники: 1 из раздела 8.	
1.2	Потоки событий	С помощью языков программирования, либо в прикладных статистических пакетах строятся подпрограммы или алгоритмы для автоматического расчета по формулам, пройденным на лекциях. Аналитически или с помощью полученных алгоритмов решаются прикладные задачи. Рекомендуемые источники: 1 из раздела 8.	Работа за компьютером
1.3	Марковский дискретный процесс с непрерывным временем	С помощью языков программирования, либо в прикладных статистических пакетах строятся подпрограммы или алгоритмы для автоматического расчета по формулам, пройденным на лекциях. По формулировкам задач строится граф состояний, строится система уравнений Колмогорова, находится решение численными методами. Аналитически или с помощью полученных алгоритмов решаются прикладные задачи. Рекомендуемые источники: 1 из раздела 8.	Работа за компьютером
1.4	Математическое моделирование систем массового обслуживания	С помощью языков программирования, либо в прикладных статистических пакетах строятся подпрограммы или алгоритмы для автоматического расчета по формулам, пройденным на лекциях. По формулировкам задач строится схема гибели и размножения, строится матрица интенсивностей, находятся установившиеся вероятности. Аналитически или с помощью полученных алгоритмов находятся характеристики заданной системы массового обслуживания. Рекомендуемые источники: 1 из раздела 8.	Работа за компьютером
Раздел 2. Имитационное моделирование			
2.4	Дискретно-событийное моделиро-	Построение простейшей модели. Управление временем, ограничение времени эксперимента. Сбор и вывод	Работа за компьютером

	вание в Anylogic	статистики. Построение графиков и диаграмм. Создание новых типов агентов. Создание анимированной презентации модели. Разобраться как задавать приоритеты в обслуживании (в блоках queue, sieze, service). Визуально убедиться, что приоритеты работают. Познакомиться с проблемой преобразования разных типов агентов в один тип агента. Научится обращаться к параметрам через функции getParameter, setParameter. Создание и настройка оптимизационного эксперимента. Рекомендуемые источники: 2, 3 из раздела 8 и 1 из раздела 9.	
2.5	Сбор и визуализация статистики в Anylogic	Использование встроенных законов распределения. На примере некоторой СМО научиться выводить на экран автоматически собираемую статистику о размере очереди (в блоке queue) и коэффициенте загрузки (в блоке delay). Научится самостоятельно собирать статистику через описание действий при входе и выходе из блоков. Изучить элементы timeMeasureStart, timeMeasureEnd, DataSet, HistogramSmartData. Научится пользоваться двумерной гистограммой. Научится разделять статистику по разным выборкам во время сбора. Научится объединять статистику в одну выборку. Использование эмпирических законов распределения. Создание нестандартного закона распределения Рекомендуемые источники: 2, 3 из раздела 8 и 1 из раздела 9.	Работа за компьютером
2.6	Создание анимированных презентаций в Anylogic	Разобраться как работают элементы разметки пространства, 3D окно, Область просмотра, Камера, Свет. Научиться группировать фигуры, масштабировать, поворачивать. Научится изменять цвет материалов у 3D объектов с помощью функции setColor. Разобраться как перемешать агентов между разными этажами. Изучить как работают элементы pedChangeLevel, pedEscalator, lift, levelGate. Научится изменять Z координаты элементам разметки пространства и видимым объектам. Рекомендуемые источники: 2, 3 из раздела 8, 1 из раздела 9.	
2.7	Непрерывные модели и модели системной динамики в Anylogic	Изучаются накопители, потоки, связи, параметры, динамические переменные и функции. Классические модели системной динамики и произвольный режим ввода дифференциального уравнения. Непрерывные моде-	Работа за компьютером

		ли. Непрерывная модель Хищник-Жертва. Моделирование финансовых и материальных потоков. Модели физических процессов (задачи 13.7–13.9 практикума). Построение презентаций непрерывных моделей. Рекомендуемые источники: 2, 3 из раздела 8 и 1 из раздела 9.	
2.8.	Агентно-ориентированные модели в Anylogic	Популяции агентов. Диаграммы состояния агентов. Состояния, составные состояния, переходы, переменные, функции и события. Добавление новых и удаление старых агентов из популяции. Функции moveTo и jumpTo. Построение анимированной агентно-ориентированной модели. Агентно-ориентированная модель Хищник-Жертва. Сбор статистики по популяции агентов. Рекомендуемые источники: 2, 3 из раздела 8 и 1 из раздела 9.	Работа за компьютером
2.9	Специальные виды моделей в Anylogic	По аналогии с ранее изученными блоками изучаются дополнительные библиотеки Anylogic: библиотека производственных систем, пешеходная библиотека, железнодорожная библиотека, библиотека дорожного движения, библиотека моделирования потоков (движения жидкостей). Строятся простейшие примеры. Изучаются готовые примеры моделей по данным библиотекам. Рекомендуемые источники: 2, 3 из раздела 8 и 1 из раздела 9.	Работа за компьютером

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение дисциплины, формы внеаудиторной самостоятельной работы

Наименование тем (разделов) дисциплины	Перечень вопросов, отводимых на самостоятельное освоение	Формы внеаудиторной самостоятельной работы
Раздел 1. Математическое моделирование		
Марковский дискретный	Какое подмножество состояний называется эргодическим? Как строится граф состояний марковского процесса? Как найти вероятности состояний спустя k шагов?	Работа с литературой, изучение теоретического материала.

процесс с дискретным временем	Как найти вероятность первого перехода в состояние за k шагов? Как определить среднее время перехода в заданное состояние? Как определяется вероятность первого возвращения в состояние спустя k шагов? Как определить среднее время, необходимое для возвращения в исходное состояние? Как определить установившиеся вероятности? Получите формулы для установившихся вероятностей с помощью матричных операций.	Решение ситуационных задач.
Потоки событий	Какой поток называется простейшим? Какой поток называется потоком с ограниченным последствием? Как определить закон распределения длительности интервала, на который попала случайная точка? Как определить закон распределения левого и правого участка, на которые поделится случайный интервал времени, при выпадении случайной точки? Как определить условный закон распределения оставшегося времени, если известно количество прошедшего времени спустя последнее событие? Как определить вероятность того, что случайно начатый вычислительный процесс, для которого требуется фиксированное время выполнения, успешно выполнится без сбоев, если известен закон распределения интервалов времени между сбоями.	Работа с литературой, изучение теоретического материала. Решение ситуационных задач.
Марковский дискретный процесс с непрерывным временем	Чем отличаются марковские цепи с непрерывным временем от марковских цепей с дискретным временем? Как составлять уравнения Колмогорова? Как найти вероятности состояний в заданный момент времени? Как определить установившиеся вероятности с помощью матричных операций? Как определить среднее время нахождения системы в состоянии, вне состояния, в подмножестве состояний, вне подмножества состояний?	Работа с литературой, изучение теоретического материала. Решение ситуационных задач.
Математическое моделирование систем массового обслуживания	Как строится граф марковского процесса для СМО с ожиданием? Как с помощью марковских процессов определить вероятность отказов, пропускную способность, среднюю длину очереди, среднее время в очереди, среднее количество занятых каналов обслуживания? Как изменяется граф марковского процесса для СМО с нетерпеливыми заявками, для СМО с ошибками в обслуживании, для замкнутых СМО, для СМО с не Пуассоновскими потоками событий, для СМО с взаимопомощью.	Работа с литературой, изучение теоретического материала. Решение ситуационных задач.
Раздел 2. Имитационное моделирование		
I. Теоретическая часть		

Введение в имитационное моделирование	В чем заключается суть и основная идея имитационного моделирования? Каково место имитационного моделирования среди остальных методов исследования систем? Определения имитационного моделирования. Преимущества использования имитационного моделирования. Классификация имитационных моделей. Самые распространенные виды имитационных моделей. Пример имитационных моделей. В чем разница между непрерывными и дискретными распределениями? С помощью каких распределений можно задавать интервалы между поступлениями новых заявок, требований или клиентов в систему? С помощью каких распределений можно задавать длительность обслуживания или выполнения некоторых операций? С помощью каких распределений можно задавать ошибки измерения, разброс параметров?	Работа с литературой, изучение теоретического материала.
Техническая сторона имитационного моделирования	Как получить выборку случайных чисел с равномерным распределением? Как сделать так, чтобы последовательность случайных чисел не повторялась как можно дольше? Как из равномерного распределения можно получить другие распределения используя метод обратной функции? Как получить закон распределения с усеченной областью определения? Как получить выборку случайных чисел, чей закон распределения можно представить в виде композиции простых законов распределения? Как получить выборку случайных чисел по методу принятия-отклонения? Как получить выборку случайных чисел с нормальным законом распределения? Как проверить, что генератор случайных чисел выдает нужное распределение? Для чего и как проверяют генератор равномерного закона распределения на равномерность заполнения многомерного пространства? Как генерировать стационарный и нестационарный процесс поступления Пуассона? Как моделировать не пуассоновский процесс поступления?	Работа с литературой, изучение теоретического материала.
Методология моделирования	Приведи схему этапов для исследования систем с помощью имитационного моделирования. Какая модель называется адекватной? В чем разница между валидацией и верификацией? На каких этапах выполняется проверка адекватности? Для чего нужно планирование экспериментов? Как желательно строить схему экспериментов? Как можно уменьшить количество экспериментов? Ка-	Работа с литературой, изучение теоретического материала.

	кие есть рекомендации при планировании экспериментов для построения метамоделей? Какие методы оптимизации используются в имитационном моделировании? Как решается проблема оптимизации, если есть множество локальных оптимумов? В чем основная проблем при сравнении альтернативных конфигураций систем? Как реализовать метод общих случайных чисел при сравнении альтернативных конфигураций систем? Как построить доверительный интервал для величины превосходства одной системы над другой? Как выбрать лучшую систему из множества альтернативных конфигураций с заданной вероятностью правильного выбора?	
II. Практическая часть		
Дискретно-событийное моделирование в Anylogic	Изучите основные блоки Библиотеки моделирования процессов для построения дискретно-событийных моделей. Научитесь управлять ходом времени модели, приостанавливать и запускать выполнение модели до заданного времени. Изучите как создавать новые типы агентов с дополнительными параметрами. Изучите блоки Queue, Seize, Service. Изучите разные способы организации очереди: FIFO, LIFO, по приоритетам и сравнением агентов. Изучите способы ограничения размеров очередей. Изучите способы организации прерывания в обслуживании с помощью настройки возможности вытеснения задач. Что происходит с агентами, обслуживание которых было прервано?	Работа с литературой, изучение примеров и документации по Anylogic.
Сбор и визуализация статистики в Anylogic	Научитесь собирать статистику о времени нахождения в очереди через параметры агентов и через специальные блоки timeMeasureStart/timeMeasureEnd. Научитесь выводить собранную статистику на экран. Научитесь объединять статистику из разных выборок и осуществлять отдельный сбор статистики в разные выборки. Изучите как задавать пользовательские генераторы случайных чисел для обеспечения синхронизации случайных чисел в разных экспериментах, изучите класс Random.	Работа с литературой, изучение примеров и документации по Anylogic.
Создание	Изучите как устроены примеры моделей: Robot for	Работа с литературой,

анимированных презентаций в Anylogic	Golem Manufacturing, Distribution Center, Autoclaved Aerated Concrete Factory, Three Body Problem. Научитесь самостоятельно создавать анимированные презентации моделей	изучение примеров и документации по Anylogic
Непрерывные модели и модели системной динамики в Anylogic	Как стоят классические модели системной динамики в Anylogic? Как строить произвольные непрерывные модели? Создайте непрерывную модель Хищник-Жертва и модель физических процессов.	Работа с литературой, изучение примеров и документации по Anylogic.
Агентно-ориентированные модели	Как создавать новый тип агентов и популяции агентов? Как задавать логику поведения агентов с помощью диаграммы состояний? Постройте агентно-ориентированную модель Хищник-Жертва. Как собирать статистику по агентам?	Работа с литературой, изучение примеров и документации по Anylogic.
Специальные виды моделей в Anylogic	Изучите примеры моделей, в которых используются блоки производственных систем, блоки пешеходной библиотеки, блоки дорожного движения, блоки железнодорожного движения, блоки моделирования потоков жидкости. Научитесь строить модели, в которых используются одновременно несколько подходов моделирования.	Работа с литературой, изучение примеров и документации по Anylogic.

6.2. Перечень вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Примерный перечень заданий для контрольной работы

Контрольная может состоять из нескольких заданий на каждую тему по математическому моделированию.

Задание 1 (марковские процессы с дискретным временем)

Система имеет 12 дискретных состояний. Изменение состояний происходит в дискретные моменты времени с заданной вероятностью. Схема марковского процесса изображена на рисунке. Требуется определить:

1) вероятность того, что за 9 шагов система перейдет из состояния 4 в состояние 12;

2) вероятности состояний системы спустя 5 шагов, если в начальный момент вероятности состояний были следующими

$$A = (0,13; 0,1; 0,13; 0,02; 0,04; 0,03; 0,03; 0,1; 0,05; 0,13; 0,11; 0,13);$$

3) вероятность первого перехода за 5 шагов из состояния 5 в состояние 9;

4) вероятность перехода из состояния 9 в состояние 3 не позднее чем за 10 шагов;

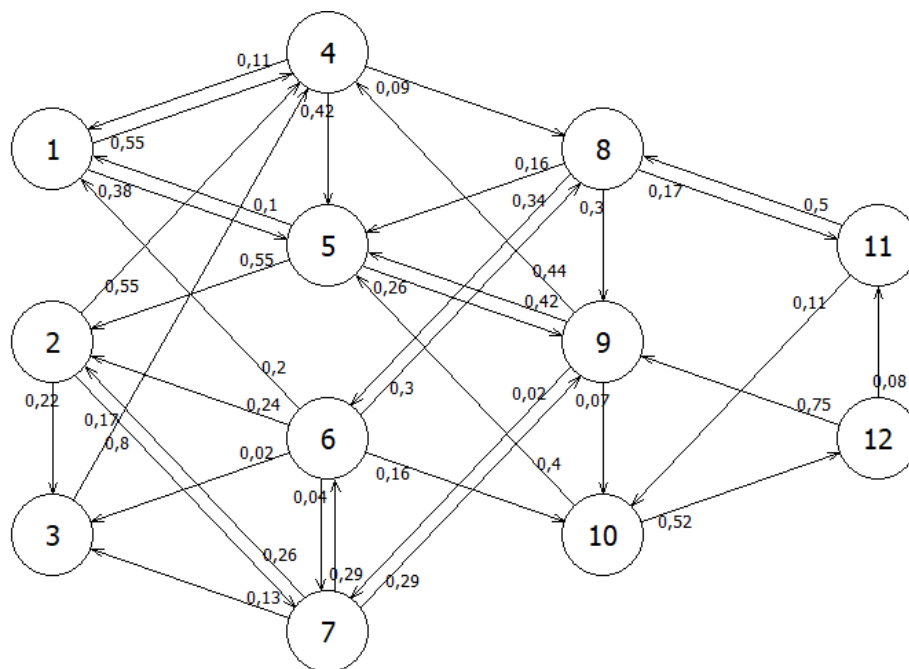
5) среднее количество шагов для перехода из состояния 7 в состояние 5;

6) вероятность первого возвращения в состояние 4 за 9 шагов;

7) вероятность возвращения в состояние 11 не позднее чем за 6 шагов;

8) среднее время возвращения в состояние 9;

9) установившиеся вероятности.



Задание 2 (марковские процессы с непрерывным временем)

Задана система массового обслуживания со следующими характеристиками:

- интенсивность поступления $\lambda=35$
- каналов обслуживания $m=2$
- интенсивность обслуживания $\mu=24$
- максимальный размер очереди $n=14$

Изначально требований в системе нет.

а) Составьте граф марковского процесса, запишите систему уравнений Колмогорова и найдите установившиеся вероятности состояний.

- b) Найдите вероятность отказа в обслуживании.
- c) Найдите относительную и абсолютную интенсивность обслуживания.
- d) Найдите среднюю длину в очереди.
- e) Найдите среднее время в очереди.
- f) Найдите среднее число занятых каналов.
- g) Найдите вероятность того, что поступающая заявка не будет ждать в очереди.
- h) Найти среднюю длительность времени для простоя (однократного) системы массового обслуживания.
- i) Найти среднюю длительность времени, когда в системе нет очереди.

Примеры практико-ориентированных заданий

1. В супермаркет приходят за покупками две категории покупателей. Одни из них приходят каждые 6 минут, выбирают товар в течение 2 ± 1 минут и оплачивают товар на кассе в течение 3 минут. Покупатели из другой категории приходят в магазин за большими покупками в среднем по 6 человек в час. Такие покупатели набирают товар в течение 4 ± 2 минут, затем идут взвешивать товар в весовой отдел с одним продавцом в течение 2 минут, а потом идут оплачивать товар на кассу, где обслуживаются в среднем 5 минут. Процесс поступления покупателей является Пуассоновским. Время обслуживания на кассе и в весовом отделе подчиняется нормальному закону распределения со средним квадратичным отклонением равным одной четверти математического ожидания. Промоделируйте работу супермаркета и определите размеры очередей и длительность ожидания в очередях за время 20 часов.

2. В поликлинику приходят пациенты и становятся в очередь в регистратуру. Среди пациентов выявлено три группы. Первая группа — это обычные пациенты, интенсивность их поступления составляет в среднем 10 человек в час. Вторая группа посетителей — это ветераны боевых действий, которые приходят в среднем 2 человека в час и обслуживаются вне очереди. Третью группу составляют хамоватые посетители, которые игнорируют все установленные правила и лезут в начало очереди всеми возможными способами, интенсивность прихода таких посетителей составляет в среднем 1 человек в час. В регистратуре работает только один врач, который тратит на каждого посетителя в среднем 4 минуты (нормальное распределение $\sigma=1$). Считая, что все интервалы поступления соответствуют экспоненциальному распределению промоделировать работу регистратуры в течение 12 часов и определить среднее время ожидания в очереди посетителей из каждой группы посетителей поликлиники.

Критерии балльной оценки различных форм текущего контроля успеваемости содержатся в соответствующих методических рекомендациях кафедры.

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине содержится в разделе «2. Перечень планируемых результатов освоения образовательной программы (перечень компетенций) с указанием индикаторов их достижения и планируемых результатов обучения по дисциплине».

Примеры оценочных средств для проверки каждой компетенции, формируемой дисциплиной

Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (умения и знания), соотнесенные с индикаторами достижения компетенции	Типовые контрольные задания
ПКН-2 Способен с помощью математической модели решать поставленную теоретическую или практическую задачу, реализовывая алгоритм решения в виде программного модуля	1. Демонстрирует знание базовых математических моделей, применяемых в различных предметных областях.	Знать. Способы моделирования сложных систем с помощью математических методов на основе марковских процессов и с помощью имитационного моделирования на основе дискретно-событийного, непрерывного или агентно-ориентированного моделирования. Уметь. Моделировать сложные системы с помощью математического и имитационного моделирования, собирать статистику об интересующих харак-	<u>Математическое моделирование:</u> Задана система массового обслуживания со следующими характеристиками: • интенсивность поступления $\lambda=47$ • каналов обслуживания $m=7$ • интенсивность обслуживания $\mu=10$ • максимальный размер очереди $n=19$ Изначально требований в системе нет. а) Составьте граф марковского процесса, запишите систему уравнений Колмогорова и найдите установившиеся вероятности состояний. б) Найдите вероятность отказа в обслуживании. с) Найдите относительную и абсолютную интенсивность обслуживания. д) Найдите среднюю длину в очереди. е) Найдите среднее время в очереди. ф) Найдите среднее число занятых каналов. г) Найдите вероятность того, что поступающая заявка не будет ждать в очереди.

		теристиках, строить анимированные 3D презентации моделей	h) Найти среднее время нахождения в состоянии, когда система простаивает. i) Найти среднее время нахождения в подмножестве состояний, когда в системе нет очереди. <u>Имитационное моделирование:</u> В операционном зале банка обслуживаются физические и юридические лица. В банке организована электронная система регистрации клиентов, так что сразу формируются две отдельные очереди для физических и юридических лиц. Для обслуживания физических лиц в операционном зале предусмотрено три окна, для обслуживания юридических лиц – одно окно. Статистически установлено, что поступление клиентов происходит с интенсивностью 16 человек в час, обслуживание физических лиц составляет в среднем 10 минут, юридических лиц – 22 минуты, так же установлено, что в среднем число юридических лиц составляет 20% от всех входящих клиентов. Есть основания предполагать, что входящий поток и время обслуживания всех клиентов подчиняется экспоненциальному закону распределения. Составить имитационную модель работы операционного зала за десятичасовой рабочий день. Определить коэффициент загрузки работников банка, среднее время и среднюю длину очередей. За единицу времени принять одну минуту. Можно ли сократить количество окон по обслуживанию физических лиц без особого ущерба качества обслуживания.
2. Адаптирует и применяет существующие математические модели для решения поставленной прикладной или теоретической задачи.	Знать. Основные методы оптимизации, применяемые в имитационном моделировании и способы сравнения альтернативных конфигураций систем. Уметь. Разрабатывать имитационные модели и проводить эксперименты на них для получения дополнительной ин-	<u>Математическое моделирование:</u> Задана система массового обслуживания со следующими характеристиками: • интенсивность поступления $\lambda=9$ • каналов обслуживания $m=2$ • интенсивность обслуживания $\mu=7$ • максимальный размер очереди $n=6$ Изначально требований в системе нет. а) Составьте граф марковского процесса, запишите систему уравнений Колмогорова и найдите установившиеся вероятности состояний. б) Найдите вероятность отказа в обслуживании.	

		формации.	c) Найдите относительную и абсолютную интенсивность обслуживания. d) Найдите среднюю длину в очереди. e) Найдите среднее время в очереди. f) Найдите среднее число занятых каналов. g) Найдите вероятность того, что поступающая заявка не будет ждать в очереди. h) Найти среднее время простоя системы массового обслуживания. i) Найти среднее время, когда в системе нет очереди. <u>Имитационное моделирование:</u> В гипермаркете для обслуживания потока покупателей есть четыре кассы, выявлено, что среднее время обслуживания покупателей на разных кассах разное. На первой кассе составляет 4 минут, на второй кассе 5 минут, на третьей кассе 6 минут и на четвертой кассе 7 минут. К кассам организована общая очередь. Интенсивность поступления покупателей к кассам составляет 53 человек в час. Закон распределения поступления покупателей и обслуживания на кассе принимается экспоненциальный. Составить имитационную модель работы касс за один восьмичасовой рабочий день. Определить коэффициент загрузки кассиров, среднее время в очереди и среднюю длину очереди к кассам. За единицу времени принять одну минуту. Определить, способствует ли уменьшению времени ожидания в очереди добавление пятого кассира-стажера, среднее время обслуживания которого 8 минут, и за счет помощи которому среднее время обслуживания первого и второго кассиров увеличивается на 1 минуту.
3. Владеет методологией математического моделирования для решения профессиональных задач.	Знать. Особенности и различия математического и имитационного моделирования, методологию и этапы исследования систем с помощью имитационного моделирования. Уметь. Строить математические и имитационные модели.	<u>Математическое или имитационное моделирование (замкнутая СМО):</u> В некотором отделе сотрудники предприятия работают за персональными компьютерами. Всего в отделе находится 40 персональных компьютеров. Любая техника имеет тенденцию выходить из строя в самый не подходящий момент и компьютеры не исключение. Ориентировочное время безотказной работы компьютеров 1000 ± 150 часов по равномерному закону распределения (проинициализируйте на-	

		собирают статистику, рассчитывать выходные характеристики, проводить эксперименты и выбирать лучшую из конфигураций систем.	чальное время работы компьютеров, чтобы они не выходили из строя приблизительно в одно время волнами). Необходимо как можно скорее заменить неисправный компьютер. Для таких случаев предусмотрен резерв из 5 работоспособных компьютеров. Неисправный компьютер после замены его на резервный поступает в ремонтную мастерскую, где работает 1 мастер. Мастер не может ремонтировать сразу несколько компьютеров одновременно. Время ремонта каждого компьютера составляет 30 ± 10 часов по равномерному закону. Промоделировать работу отдела в течение 5 лет модельного времени. Необходимо проанализировать сложившуюся обстановку, определить среднее и максимальное количество одновременно неисправных компьютеров. Определить загруженность мастера по ремонту компьютеров, определить среднее число простаивающих сотрудников предприятия, ожидающих ремонта компьютера. Определить необходимость найма дополнительного мастера по ремонту, если оплата мастера 300 у.е. в час, а убыток от простоя сотрудника предприятия составляет 500 у.е. в час. Как изменится результат, если количество резервных компьютеров будет 15?
--	--	--	--

Примерный перечень вопросов к экзамену

I. Список вопросов по математическому моделированию

1. Марковские процессы с дискретным временем, граф состояний. Состояние источник, транзитивное состояние, конечное состояние. Конечное подмножество состояний, эргодическое подмножество состояний. Вероятности состояний. Какой процесс называется марковским?
2. Марковский процесс с дискретным временем, граф состояний. Вероятности переходов. Однородная цепь Маркова. Вероятность перехода за k шагов. Вероятность состояний через k шагов. Вероятности для неоднородной цепи Маркова.
3. Марковский процесс с дискретным временем, граф состояний. Вероятность первого перехода за k шагов (для однородного и неоднородного процесса). Вероятность перехода не более чем за k шагов.

4. Марковский процесс с дискретным временем, граф состояний. Вероятность первого возвращения за k шагов (для однородного и неоднородного процесса). Среднее время возвращения.
5. Марковский процесс с дискретным временем, граф состояний. Стационарный режим. Условия. Предельные вероятности. Поток вероятности. Нахождение предельных вероятностей. Матричный способ.
6. Марковский процесс с непрерывным временем, граф состояний. Пуассоновский процесс. Вероятность перехода за Δt . Интенсивности переходов. Матрица интенсивностей.
7. Марковский процесс с непрерывным временем, граф состояний. Уравнения Колмогорова. Поток вероятности. Система дифференциальных уравнений.
8. Марковский процесс с непрерывным временем, граф состояний. Стационарный режим. Условия. Вероятности состояний. Система уравнений. Матричный способ.
9. Марковский процесс с непрерывным временем, граф состояний. Время однократного пребывания в состоянии. Время однократного пребывания вне состояния.
10. Марковский процесс с непрерывным временем, граф состояний. Время однократного пребывания в подмножестве состояний. Время однократного пребывания вне состояния.
11. Теория систем массового обслуживания. Задача теории СМО. Характеристики эффективности СМО. Схема гибели и размножения марковского процесса.
12. Теория систем массового обслуживания. Многоканальная СМО с ограниченной очередью. Схема марковского процесса. Уравнения Колмогорова. Установившийся режим. Вероятность отказа. Относительная и абсолютная пропускная способность. Средняя длина очереди.
13. Теория систем массового обслуживания. Многоканальная СМО с ограниченной очередью. Схема марковского процесса. Уравнения Колмогорова. Установившийся режим. Среднее время в очереди. Среднее время нахождения в системе. Среднее число занятых каналов.
14. Теория систем массового обслуживания. СМО с ограниченным временем ожидания, схема марковского процесса. Замкнутые СМО и их схема. Характеристики замкнутой СМО.
15. Теория систем массового обслуживания. СМО с ошибками в обслуживании. Схема. СМО с взаимопомощью. Дисциплина взаимопомощи. Интенсивность обслуживания при взаимопомощи каналов обслуживания. Рекомендации. Схема.
16. Теория систем массового обслуживания. СМО с не пуассоновскими потоками событий. Замена закона времени обслуживания на распределение Эрланга или обобщенное распределение Эрланга. Метод псевдосостояний для обеспечения Марковости процесса.

II. Список вопросов по имитационному моделированию

1. Поясните, чем принципиально отличается имитационное моделирование от других методов исследования.
2. Какие законы распределения наиболее часто используются в имитационном моделировании? Какие величины чаще всего с помощью них задают?
3. В чем особенности табличного, физического и программного способа получения случайных чисел?
4. Какие числа называют псевдослучайными? Какие методы получения случайных чисел вы знаете?
5. Расскажите о линейном конгруэнтном генераторе случайных чисел и теореме о трех условиях для того, чтобы генератор обладал полным периодом.
6. Расскажите о конгруэнтном генераторе с простым модулем и о механизме избежать явного деления по модулю.
7. Как устроены многократные рекурсивные и сложные генераторы? Какие преимущества они могут дать?
8. В чем основная идея метода обратной функции? Приведите пример. Какая особенность в получении дискретных распределений методом обратной функции?
9. Перечислите недостатки и достоинства метода обратной функции. В чем особенность получения усеченного распределения с помощью обратной функции?
10. Как работает метод композиции для генерирования сложных законов распределения?
11. Как устроен метод принятия-отклонения для получения произвольных законов распределения?
12. Генерация случайных величин на основе специальных свойств и метод свертки.
13. Расскажите о способах генерирования нормального закона распределения, приведите формулы.
14. Для чего и как осуществляется тестирование генераторов случайных чисел на равномерность заполнения многомерного пространства?
15. Как осуществляется тестирование генераторов случайных чисел на независимость случайных величин?
16. Построение моделей систем массового обслуживания. Примеры. Из каких характерных частей состоит система массового обслуживания.
17. Какие основные критерии (характеристики) оценки работы системы массового обслуживания?
18. Моделирование процесса поступления заявок на основе стационарного Пуассоновского процесса. Свойство Пуассоновских потоков поступления.
19. Моделирование нестационарного Пуассоновского процесса поступления. Почему нужен другой алгоритм по сравнению со стационарным потоком?

20. В чем отличие непрерывных моделей от дискретных? Основные способы решения непрерывных моделей?
21. Особенности непрерывных моделей. Приведите примеры непрерывных моделей.
22. Особенности моделей системной динамики (Дж. Форрестера).
23. Модель системной динамики Мир-2. Основной вывод.
24. Основная особенность агентно-ориентированных моделей, классификация среды.
25. Основная особенность агентно-ориентированных моделей, классификация агентов.
26. Основная особенность агентно-ориентированных моделей, примеры
27. Какие способы продвижения модельного времени существуют, в чем их отличия и в каких моделях в основном они применяются?
28. Приведите список этапов при исследовании систем с помощью имитационного моделирования.
29. Какие модели называются адекватными? Приведите схему обеспечения адекватности модели.
30. Какие модели называются адекватными, что такое валидация и когда она происходит?
31. Какие модели называются адекватными, что такое верификация и когда она происходит?
32. Какие модели называются адекватными? Приведите схему сравнения выходных данных реальной системы и модели.
33. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Перечислите виды факторов и откликов.
34. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Как может выглядеть поверхности откликов?
35. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Что такое план 2^k , как он строится и для чего он может быть нужен?
36. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Что такое и как рассчитываются главные эффекты факторов?
37. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Что такое и как рассчитываются эффекты взаимодействия факторов?
38. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Что такое и для чего может быть нужен факторный план с дробными репликами?
39. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Что такое сверхнасыщенные планы и для чего они могут быть нужны?
40. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Как можно уменьшить количество факторов?

41. Для чего нужно планирование проведения экспериментов на имитационных моделях? Что такое метамоделли, для чего они используются, как они зависят от выбранной схемы экспериментов?
42. В чем основная проблема при сравнении альтернативных конфигураций систем? Что такое метод общих случайных чисел и для чего он используется?
43. В чем основная проблема при сравнении альтернативных конфигураций систем? Перечислите проблемы обеспечения синхронизации случайных чисел.
44. В чем основная проблема при сравнении альтернативных конфигураций систем? Расскажите о доверительных интервалах при сравнении альтернативных систем (на основе критерия Стьюдента).
45. В чем основная проблема при сравнении альтернативных конфигураций систем? Расскажите о доверительных интервалах Велча при сравнении альтернативных систем.
46. В чем основная проблема при сравнении альтернативных конфигураций систем? Приведите алгоритм выбора лучшей конфигурации из множества альтернативных конфигураций систем.
47. Расскажите о моделях и об основной идее метода Монте-Карло, приведите пример.
48. Методы оптимизации целевой функции (функционала), применяемые в имитационном моделировании.
49. Основные подходы при поиске глобального экстремума во время оптимизации невыпуклых задач.

Пример экзаменационного билета

1 вопрос (15 баллов): Механизмы продвижения модельного времени.

2 вопрос (15 баллов): Основная особенность агентно-ориентированных моделей, классификация агентов.

3 вопрос (30 баллов): Задача

В гипермаркете «Семерочка» для обслуживания потока покупателей есть четыре кассы, выявлено, что среднее время обслуживания покупателей на разных кассах разное. На первой кассе составляет 3 минуты, на второй кассе 4 минуты, на третьей кассе 5 минут и на четвертой кассе 6 минут. К кассам организована общая очередь. Интенсивность поступления покупателей к кассам составляет 57 человек в час. Закон распределения поступления покупателей и обслуживания на кассе принимается экспоненциальный. Составить имитационную модель работы касс за один восьмичасовой рабочий день. Определить коэффициент загрузки кассиров, среднее время в очереди и среднюю длину очереди к кассам. За единицу времени принять одну минуту. Определить,

способствует ли уменьшению времени ожидания в очереди добавление пятого кассира-стажера, среднее время обслуживания которого 7 минут, и за счет помощи которому среднее время обслуживания первого и второго кассиров увеличивается на 1 минуту.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

а) Основная литература:

1. Лабскер, Л. Г. Вероятностное моделирование в финансово-экономической области : учебное пособие / Л. Г. Лабскер. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 172 с. — ЭБС ZNANIUM. - URL: <http://znanium.com/catalog/product/1228815> (дата обращения: 27.03.2024). - Текст : электронный.
2. Кораблев, Ю. А. Имитационное моделирование: учебник / Ю. А. Кораблев; Финуниверситет. — Москва : Кнорус, 2017. - 146 с. — Текст : непосредственный. - То же. - 2020. - ЭБС BOOK.ru. - URL: <https://www.book.ru/book/933531> (дата обращения: 27.03.2024). - Текст : электронный.

б) Дополнительная литература:

3. Кораблев, Ю. А. Имитационное моделирование. Практикум: учебное пособие для направлений бакалавриата "Прикладная математика и информатика", "Прикладная информатика", "Бизнес-информатика" / Ю. А. Кораблев ; Финуниверситет. — Москва : Кнорус, 2021. - 153 с. - Бакалавриат. - Текст : непосредственный. — То же. — 2021. — ЭБС BOOK.ru. - URL: <https://book.ru/book/936268> (дата обращения: 27.03.2024). — Текст : электронный.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

«Интернет», необходимых для освоения дисциплины

- Обучающие материалы и видео по AnyLogic, доступные по адресу www.anylogic.ru/books, www.anylogic.ru/education-videos .
- Национальное общество имитационного моделирования www.Simulation.su
- Информационно-образовательный портал Финансового университета при Правительстве Российской Федерации <http://org.fa.ru/>
- Электронная библиотека Финансового университета (ЭБ) <http://elib.fa.ru/>
- Электронно-библиотечная система BOOK.RU <http://www.book.ru>
- Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека ОНЛАЙН» <http://biblioclub.ru/>

- Электронно-библиотечная система Znanium <http://www.znanium.com>
- Электронно-библиотечная система издательства «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
- Электронно-библиотечная система издательства Проспект <http://ebs.prospekt.org/books>
- Деловая онлайн-библиотека Alpina Digital <http://lib.alpinadigital.ru/>
- Электронная библиотека Издательского дома «Гребенников» <https://grebennikon.ru/>
- Научная электронная библиотека eLibrary.ru <http://elibrary.ru>
- Национальная электронная библиотека <http://нэб.рф/>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Выполнение контрольной работы направлено на оценку качества усвоения студентами дисциплины, владения навыками решения практических заданий. При подготовке к выполнению работы студент должен изучить рекомендуемые нормативные правовые акты и учебную литературу, а также повторить ключевые положения и определения по изученным вопросам учебной дисциплины. В ходе выполнения работы студент должен проявить знания основных вопросов по темам дисциплины, а также умения решать типовые задачи, формулировать четкие и содержательные ответы на вопросы, проводить сравнительную оценку. Контрольная работа предполагает письменный ответ на вопрос, который должен отразить знание студентом понятийного аппарата. При работе учитывается правильность ответов на задания, отсутствие содержательных и терминологических ошибок.

1. Контрольная работа представляет собой работу исследовательского характера.

2. Цель написания контрольной работы – выработка у студентов опыта самостоятельного получения углубленных знаний по одной из проблем (тем) курса.

3. Примерный перечень тем контрольных работ содержится в рабочей программе дисциплины (модуля). Контрольная работа выполняется под методическим руководством преподавателя, ведущего семинарские (практические) занятия.

4. Контрольная работа студента должна включать:

- описание актуальности темы, цели и задач работы;
- круг рассматриваемых проблем, варианты и методы их решения;
- результаты анализа используемого материала, их интерпретация и общие выводы.

5. При выполнении контрольной работы используются современные информационные средства поиска, обработки и анализа материала, базы данных.

6. Объем контрольной работы - не более 10 страниц.

7. Оценка контрольной работы осуществляется в процессе текущего контроля успеваемости студентов.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем

11.1 Комплект лицензионного программного обеспечения:

- Windows Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint) или LibreOffice (Writer, Calc, Draw, Math, Impress)
- Антивирус Kaspersky

11.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Система моделирования AnyLogic (бесплатная PLE версия).

11.3 Сертифицированные программные и аппаратные средства защиты информации – не предусмотрено

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий необходима мультимедийная аудитория, оснащенная компьютером с подключенным к нему проектором. Для проведения практических занятий необходим компьютерный класс с установленным программным обеспечением из раздела 11.