

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 10 » ноября 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Математическое моделирование  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 08.04.01 Строительство  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Риск-менеджмент в строительстве  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Целью дисциплины является изучение основ математического моделирования, включая этапы разработки модели, знакомство с особенностями математического моделирования в условиях стохастической неопределенности различных параметров реальных объектов и явлений в предметной области будущей деятельности выпускников.

Задачи учебной дисциплины:

- получение представлений о месте математического моделирования среди методов научного познания;
- знакомство с этапами разработки математической модели;
- получение представлений об основных подходах к моделированию сложных систем;
- получение представлений об изменчивости и неопределенности параметров объекта моделирования и способах описания случайных процессов в математических моделях;
- знакомство с системами массового обслуживания и их моделями; примеры систем массового обслуживания в строительстве; исследование параметров эффективности реальных систем массового обслуживания.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения учебной дисциплины являются следующие объекты: задачи математического моделирования; математические модели в условиях неопределенности; системы массового обслуживания и оценка их эффективности; системы массового обслуживания в строительстве.

### 1.3. Входные требования

Знания, полученные при изучении дисциплин математика, физика, информатика, в рамках программы бакалавриата.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.8	ИД-1ПК-1.8	Знает методы математического моделирования, этапы построения математической модели, базовые подходы, используемые при построении математических моделей сложных систем.	Знает математические методы организации исследований и разработок по профилю деятельности;	Зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.8	ИД-2ПК-1.8	Способен анализировать сложившуюся моделируемую ситуацию, обобщать и обрабатывать информацию, полученную из различных источников в процессе разработки модели.	Умеет работать с инструментальными средствами проведения экспериментов и наблюдений, обобщать и обрабатывать информацию;	Индивидуальное задание
ПК-1.8	ИД-3ПК-1.8	Умеет применять методы и схемы моделирования для различных конкретных случаев в сфере своей профессиональной деятельности. Умеет осуществлять поиск новых подходов и приемов моделирования в литературе и интернете. Владеет методами построения и исследования типовых математических моделей, навыками подготовки научно-технических отчетов по результатам моделирования.	Владеет навыками планирования и организации экспериментов и наблюдений с применением математического (компьютерного) и имитационного моделирования, подготовки аналитических обзоров и научно-технических отчетов	Индивидуальное задание

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	44	44	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	26	26	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	64	64	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет			
Зачет	9	9	
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
1-й семестр				
Моделирование. Математическая модель. Этапы разработки математической модели. Примеры математических моделей. Структурные модели.	8	0	12	22
Тема 1. Моделирование как метод научного познания. Определение модели и ее свойства. Определение и классификация математических моделей. Тема 2. Этапы разработки математической модели. Содержательная, концептуальная и математическая постановка задачи моделирования. Выбор метода решения задачи моделирования. Проверка адекватности модели. Примеры построения математических моделей в строительстве. Тема 3. Структурные модели. Принципы и подходы к моделированию сложных систем.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Моделирование в условиях неопределенности. Моделирование систем массового обслуживания. Моделирование с использованием имитационного подхода.	8	0	14	42
Тема 4. Моделирование в условиях неопределенности. Описание стохастической неопределенности. Описание случайной величины. Использование случайных величин при разработке моделей в строительстве. Тема 5. Моделирование систем массового обслуживания. Марковские случайные процессы и уравнения Колмогорова. Системы массового обслуживания с отказами и с очередью. Применение моделей систем массового обслуживания в строительстве. Тема 6. Моделирование с использованием имитационного подхода.				
ИТОГО по 1-му семестру	16	0	26	64
ИТОГО по дисциплине	16	0	26	64

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Этапы построения математической модели. Содержательная постановка задачи моделирования. Примеры.
2	Этапы построения математической модели. Концептуальная постановка задачи моделирования. Примеры.
3	Этапы построения математической модели. Математическая постановка задачи моделирования. Примеры.
4	Выбор и обоснование выбора метода решения задачи. Примеры.
5	Краткое введение в численные методы (решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений, метод Эйлера).
6	Реализация математической модели в виде программы для ЭВМ. Организация ввода исходных данных и вывода результатов. Обработка результатов моделирования.
7	Анализ результатов моделирования. Проверка адекватности математической модели.
8	Моделирование в условиях неопределенности. Моделирование случайных величин. Построение выборок случайных величин. Исследование случайных величин.
9	Моделирование в условиях неопределенности. Построение полигонов и гистограмм частот случайных величин.
10	Моделирование систем массового обслуживания. Уравнения Колмогорова.
11	Моделирование систем массового обслуживания. Системы массового обслуживания с отказами. Параметры эффективности. Примеры.
12	Моделирование систем массового обслуживания. Системы массового обслуживания с очередями. Параметры эффективности. Примеры.

<b>№ п.п.</b>	<b>Наименование темы практического (семинарского) занятия</b>
13	Итоговое тестирование по дисциплине. Обсуждение результатов и систематизация изученного материала.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

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

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

<b>№ п/п</b>	<b>Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)</b>	<b>Количество экземпляров в библиотеке</b>
<b>1. Основная литература</b>		
1	Введение в математическое моделирование : учебное пособие / В. Н. Ашихмин [и др.]. - М: Логос, 2007.	37
2	Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. - М.: Физматлит, 2005.	14

3	Сидоров В. Н. Математическое моделирование в строительстве : учебное пособие / В. Н. Сидоров, В. К. Ахметов. - М.: Изд-во АСВ, 2007.	3
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Горстко А. Б. Познакомьтесь с математическим моделированием / А. Б. Горстко. - Москва: Знание, 1991.	6
2	Математическое моделирование : пер. с англ. / Под ред. Дж. Эндрюса. - М.: Мир, 1979.	19
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Вестник ПНИПУ. Безопасность и управление рисками : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. В. А. Трефилова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014 -.	
2	Вестник ПНИПУ. Механика : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. А. А. Ташкинова. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
3	Вестник ПНИПУ. Прикладная математика и механика / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; А. И. Цаплина. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
4	Вестник ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. Я. И. Вайсмана. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2014 -.	
5	Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Гуманитарный факультет ; Под ред. В. Н. Стегния. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
6	Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура : журнал / Пермский национальный исследовательский политехнический университет ; Под ред. А. Б. Пономарёва. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012 -.	
7	Математическое моделирование: журнал / Российская академия наук; Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук. - Москва: РАН, 1989 - .	
8	Прикладная механика и техническая физика : журнал / Российская академия наук. Сибирское отделение; Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева; Институт теоретической и прикладной механики. - Новосибирск: СО РАН, 1960 - .	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В. Н. Ашихмин [и др.]. - Москва: Логос, 2004.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2392">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2392</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Среды разработки, тестирования и отладки	Embarcadero Delphi 2007, лиц.№ 33948, 137 лиц. ПНИПУ 2008 г.

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	<a href="https://www.scopus.com/">https://www.scopus.com/</a>
База данных Web of Science	<a href="http://www.webofscience.com/">http://www.webofscience.com/</a>
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>
Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки	<a href="http://www.diss.rsl.ru/">http://www.diss.rsl.ru/</a>

## 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Видеопроектор	1

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Ноутбук	1
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Математическое моделирование»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	08.04.01 Строительство
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	«Технологии системного анализа инновационного развития городов»
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Строительный инжиниринг и материаловедение (СИМ)
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс:</b> 1	<b>Семестр:</b> 1
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	3 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	108 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
Зачёт:	1 семестр

Пермь 2023

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### 1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. В рамках изучения дисциплины предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по практическим заданиям и зачета. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля			
	Текущий	Рубежный	Итоговый	
	С	КЗ	Зачёт	
<b>Усвоенные знания</b>				
Знает методы математического моделирования, этапы построения математической модели, базовые подходы, используемые при построении математических моделей сложных систем.	<i>С1</i>		<i>Т</i>	<i>ТВ</i>
<b>Освоенные умения</b>				
Умеет применять методы и схемы моделирования для различных конкретных случаев в сфере своей профессиональной деятельности. Умеет осуществлять поиск новых подходов и приемов моделирования в литературе и интернете.		<i>ПЗ</i>		<i>КЗ</i>
Способен анализировать сложившуюся моделируемую ситуацию, обобщать и обрабатывать информацию, полученную из различных источников в процессе разработки модели.		<i>ПЗ</i>		<i>КЗ</i>
<b>Приобретенные владения</b>				
Владеет методами построения и исследования типовых математических моделей, навыками подготовки научно-технических отчетов по			<i>КЗ</i>	<i>КЗ</i>

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КЗ – комплексное задание дифференцированного зачета.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде зачета, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланчного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1), в форме защиты задач (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.3. Выполнение комплексного задания на самостоятельную работу**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное задание студенту.

**Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений (кейсы):**

Разработать концептуальную, содержательную и математическую постановку модели описания некоторого объекта, процесса или системы. Предложить методы и подходы реализации модели. Реализовать модель с применением современных цифровых инструментов.

Пример типового комплексного задания приведен в **приложении 1**.

У студентов магистратуры темы индивидуальных комплексных заданий, как правило, связаны с тематикой научно-исследовательской работы каждого конкретного магистранта или группы магистрантов (по направлениям подготовки).

Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **2.4. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех практических работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета. Зачет по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине.

Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде зачета приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде зачета по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций.

#### **2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

##### **Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений**

1. Выполнить содержательную, концептуальную и математическую постановки для математической модели, описывающей движение лыжника, выполняющего прыжок с трамплина.

2. Постройте экономическую модель спроса и предложения в предположении их линейной зависимости от цены. Проведите анализ изменения

цен в зависимости от начальной цены при следующих исходных данных  $a=3$ ,  $b=2$ ,  $c=6$ ,  $g=8$ . Определите, в каких пределах может изменяться начальная цена.

3. Постройте экономическую модель спроса и предложения в предположении, что справедливы зависимости

$$s_{n+1} = a p_n^m - b, \quad d_{n+1} = g \exp(-c p_{n+1}),$$

где  $a, b, c, g > 0$ ;  $0 < m < 1$ . Проведите анализ изменения цен в зависимости от начальной цены при следующих исходных данных  $a=3$ ,  $b=2$ ,  $c=1$ ,  $g=8$ ,  $m=0,5$ . Определите, как влияет значение начальной цены на сходимость решения.

4. При изучении развития эпидемии некоторого заболевания обычно выделяют три группы людей:  $x$  – группа людей, восприимчивая к данному заболеванию, но еще не заразившаяся им;  $y$  – группа уже больных или инфицированных людей, которые могут выступать разносчиками болезни;  $z$  – группа людей, невосприимчивых к данной болезни, или получившие иммунитет после перенесенного заболевания. Один из вариантов математической модели развития эпидемии может быть записан в следующем виде

$$\frac{dx}{dt} = -ax, \quad \frac{dy}{dt} = ax - by, \quad \frac{dz}{dt} = by.$$

Предложите систему гипотез для обоснования данной модели. Поясните смысл коэффициентов  $a$  и  $b$ . Проведите качественный анализ полученной системы уравнений. Выполните анализ численной схемы для данной системы.

Предложите другие варианты моделей эпидемии с учетом

- а) изменения общей численности населения, связанные с рожденьями и естественными смертями;
- б) смертности от данного заболевания;
- в) непостоянства доли заболевших людей.

5. Одна группа медиков ищет спонсоров для исследований стоимостью в 1 млн. долл. и рассчитывает за один год получить вакцину, которая позволит уменьшить коэффициент  $a$  (см. предыдущий пример) на 25%. Другая группа медиков предлагает за один год тоже за 1 млн. долл. найти лекарство, которое увеличит на 25% коэффициент  $b$ . Если у спонсора есть только 1 млн. долл., то какую группу медиков он должен поддержать?

6. На участке имеется  $N$  однотипных станков. Производительность одного станка такова, что в среднем в течение смены на нем можно обработать  $\lambda$  деталей. Детали поступают на обработку партиями по  $M$  штук. Партии поступают неравномерно и их поток близок к пуассоновскому. Интенсивность поступления составляет  $\lambda$  партий в смену. Требуется построить граф состояний данной СМО и записать систему уравнений Колмогорова для финальных вероятностей.

7. Мастерская по ремонту имеет складское помещение на  $M$  мест. В мастерской работают  $N$  мастеров, обеспечивающих среднее время ремонта  $T$ . Интенсивность поступления заявок  $\lambda$ . Если все мастера заняты и склад заполнен, то заявка отклоняется. Требуется построить граф состояний данной СМО и записать систему уравнений Колмогорова для финальных вероятностей.

8. Определить среднюю длину очереди в кассу магазина, если среднее время обслуживания одного покупателя составляет 0,3 минуты. Поток покупателей

близок к пуассоновскому с интенсивностью 3 покупателя в минуту. Сколько необходимо установить касс, если интенсивность потока возрастет в 5 раз? Средняя длина очереди при этом не должна превышать 10 человек.

9. Разработать имитатор одноканальной СМО с ограниченным временем ожидания в очереди. Предполагается, что поток заявок, поступающий в систему, является простейшим. Поступившая в систему заявка может сразу поступить на обслуживание, если канал свободен, либо встать в очередь. Если время пребывания заявки в очереди превысило некоторое предельное для нее значение, то она покидает систему не обслуженной. Интервал времени  $\Delta t$  между поступлением 2-х соседних заявок, максимальное время пребывания заявки в очереди  $\Delta h$  и время ее выполнения  $\Delta w$  описываются случайными величинами, подчиненными показательному распределению с заданными средними значениями. Имитатор должен выполнять оценку следующих параметров эффективности СМО:

- среднего времени пребывания заявки в очереди;
- вероятности выполнения заявок;
- коэффициента загрузки системы.

10. Аналогично заданию 9 разработать имитатор n-канальной СМО с ограниченным временем пребывания в очереди.

#### **2.4.2.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 2-х балльной шкале оценивания (зачет/незачет).

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

#### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по системе зачет/незачет. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.

*Индивидуальные комплексные задания для проверки умений и владений*

Выполнение индивидуального задания является основной формой самостоятельной работы магистрантов в рамках освоения дисциплины. При выполнении индивидуального задания магистранты овладевают навыками построения математических моделей реальных процессов или систем. В ходе выполнения индивидуального задания магистранту необходимо осуществить все этапы разработки математической модели:

- провести обследование объекта моделирования;
- сформулировать содержательную постановку задачи моделирования;
- ввести гипотезы об исследуемом объекте и обосновать каждую из них;
- на основе принятых гипотез осуществить математическую постановку задачи моделирования и т.д.

При выполнении индивидуального задания студент должен выработать умение пользоваться научно-технической литературой, грамотно ставить задачу и оформлять документацию. Магистрантам рекомендуется выбирать свои темы индивидуальных заданий, так или иначе связанными с тематикой будущих магистерских диссертаций или областью профессиональной деятельности магистранта.

*Типовые темы практических занятий по дисциплине для проверки умений*

1. Этапы построения математической модели. Содержательная постановка задачи моделирования. Примеры.
2. Этапы построения математической модели. Концептуальная постановка задачи моделирования. Примеры.
3. Этапы построения математической модели. Математическая постановка задачи моделирования. Примеры.
4. Выбор и обоснование выбора метода решения задачи. Примеры.
5. Краткое введение в численные методы (решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений, метод Эйлера).
6. Реализация математической модели в виде программы для ЭВМ. Организация ввода исходных данных и вывода результатов. Обработка результатов моделирования.
7. Анализ результатов моделирования. Проверка адекватности математической модели.
8. Моделирование в условиях неопределенности. Моделирование случайных величин. Построение выборок случайных величин. Исследование случайных величин.
9. Моделирование в условиях неопределенности. Построение полигонов и гистограмм частот случайных величин.
10. Моделирование систем массового обслуживания. Уравнения Колмогорова.
11. Моделирование систем массового обслуживания. Системы массового обслуживания с отказами. Параметры эффективности. Примеры.
12. Моделирование систем массового обслуживания. Системы массового обслуживания с очередью. Параметры эффективности. Примеры.
13. Итоговое тестирование по дисциплине. Обсуждение результатов и систематизация изученного материала.

*Типовые вопросы к зачету по дисциплине для проверки знаний*

1. Место моделирования среди методов научного познания.
2. Определение модели. Цели моделирования.
3. Классификация моделей.
4. Математическое моделирование. Определение.
5. Классификация математических моделей в зависимости от сложности объекта моделирования.
6. Классификация математических моделей в зависимости от оператора модели.
7. Классификация математических моделей в зависимости от параметров модели.
8. Классификация математических моделей в зависимости от целей моделирования.
9. Этапы построения математической модели.
10. Этапы построения математической модели. Обследование объекта моделирования.
11. Этапы построения математической модели. Концептуальная постановка задачи моделирования. Примеры.
12. Этапы построения математической модели. Математическая постановка задачи моделирования. Примеры.
13. Этапы построения математической модели. Выбор и обоснование выбора метода решения задачи.
14. Этапы построения математической модели. Проверка адекватности математической модели.
15. Структурные модели. Виды структурных моделей.
16. Способы построения структурных моделей.
17. Примеры структурных моделей систем. Физические структурные модели.
18. Модель «белого ящика». Структурная схема системы.
19. Модель «черного ящика». Линейная и нелинейная регрессионная модель.
20. Математическое моделирование в условиях неопределенности. Причины появления неопределенностей и их виды.
21. Моделирование в условиях стохастической неопределенности.
22. Применение непрерывных и дискретных случайных величин при разработке математических моделей.
23. Моделирование марковских случайных процессов.
24. Построение системы уравнений Колмогорова для моделирования марковского случайного процесса.
25. Модели систем массового обслуживания. Основные гипотезы модели.
26. Модели систем массового обслуживания (СМО). СМО с отказами.
27. Модели систем массового обслуживания (СМО). СМО с неограниченной очередью.
28. Моделирование с использованием имитационного подхода. Особенности моделей данного типа.
29. Модель-имитатор системы массового обслуживания.
30. Моделирование с использованием клеточных автоматов. Примеры.