

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт прикладной математики и компьютерных наук



Рабочая программа дисциплины (модуля)

**«Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»**

для подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по научной специальности:

**«1.2.2. Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»**

Форма обучения
Очная



Рабочая программа дисциплины (модуля) «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (далее – Рабочая программа) разработана и составлена в соответствии с:

– Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Национального исследовательского Томского государственного университета (утв. Приказом ректора НИ ТГУ от 31.03.2022 № 250/ОД);

– самостоятельно устанавливаемыми требованиями к программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Национального исследовательского Томского государственного университета (далее – ОП аспирантуры) (утв. Приказом ректора НИ ТГУ от 31.03.2022 № 250/ОД);

для включения в учебный план ОП аспирантуры НИ ТГУ по научной специальности «1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в качестве обязательной дисциплины, направленной на подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

Рабочая программа рассмотрена и рекомендована к утверждению учебно-методической комиссией наименования института прикладной математики и компьютерных наук, протокол № 2 от «08» июня 2023 года.

Курс: 2

Трудоёмкость в ЗЕТ – 3

Трудоёмкость в академических часах – 108

Авторы-разработчики:

Моисеева С.П., д-р физ.-мат. наук, профессор,
заведующая кафедрой теории вероятностей
и математической статистики ТГУ,
руководитель ОП «1.2.2. Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

Назаров А.А., д-р техн. наук, профессор,
профессор кафедры теории вероятностей
и математической статистики ТГУ

Моисеев А.Н., д-р физ.-мат. наук, доцент,
заведующий кафедрой программной инженерии ТГУ

Пауль С.В., д-р физ.-мат. наук, доцент,
профессор кафедры теории вероятностей
и математической статистики ТГУ

Вавилов В.А., канд. физ.-мат. наук, доцент,
доцент кафедры программной инженерии ТГУ,
ответственный за подготовку аспирантов института
прикладной математики и компьютерных наук ТГУ



1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины (модуля) «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» является формирование знаний, умений и навыков в сфере теории, методологии и практики математического моделирования, численных методов и комплексов программ, достаточных для подготовки к сдаче и сдачи кандидатского экзамена по научной специальности «1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в соответствии с Номенклатурой научных специальностей (приказ Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118).

Основные задачи дисциплины (модуля):

- формирование основных понятий математического и компьютерного моделирования, исследования операций, теории массового обслуживания, теории случайных процессов, теории конечно-разностных и дифференциальных уравнений, математического и функционального анализа;
- формирование теоретических и практических знаний о вычислительном эксперименте, теории погрешностей, теории интерполяции, о численных методах линейной алгебры, решения алгебраических и дифференциальных уравнений и систем уравнений, о методах численного дифференцирования и интегрирования, о методах имитационного моделирования, о методах статистической обработки данных;
- формирование знаний и умений работы в пакетах прикладных программ для математиков: Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple;
- формирование знаний о структурном и объектно-ориентированном проектировании программ, о процессе разработки программного обеспечения, об архитектуре программных систем, о языке UML и паттернах проектирования;
- формирование знаний о языках программирования высокого уровня, о парадигме объектно-ориентированного программирования, а также развитие умений программирования и работы с данными;
- формирование умений и навыков построения математических моделей вероятностных и детерминированных систем, анализа построенных моделей аналитическими, асимптотическими и численными методами;
- формирование умений интерпретации данных, полученных в результате математического и компьютерного моделирования, а также умений и навыков оценки области применимости, практической и теоретической значимости полученных результатов.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы аспирантуры

Дисциплина (модуль) «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» относится к дисциплинам (модулям), направленным на сдачу кандидатских экзаменов, образовательного компонента программы аспирантуры по научной специальности, по которой осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.



В соответствии с учебным планом дисциплина (модуль) реализуется на втором году обучения.

В рамках данной дисциплины (модуля) обобщаются, систематизируются и углубляются знания о теоретико-методологических основах исследования в рамках соответствующей научной специальности, формируется необходимый уровень подготовленности к самостоятельной научно-исследовательской работе.

3. Планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

По окончании освоения дисциплины (модуля) аспирант должен:

Знать:

- базовые понятия математического и компьютерного моделирования, исследования операций, теории массового обслуживания, теории случайных процессов, теории конечно-разностных и дифференциальных уравнений, математического и функционального анализа;
- понятие и сущность вычислительного эксперимента, методы теории погрешностей, методы теории интерполяции, численные методы линейной алгебры, численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений и систем уравнений, методы численного дифференцирования и интегрирования, методы имитационного моделирования, о методах статистической обработки данных;
- интерфейс и приёмы работы в пакетах прикладных программ для математиков: Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple;
- структурное и объектно-ориентированное проектирование программ, процессе разработки программного обеспечения, архитектуру программных систем, языке UML, паттернах проектирования;
- языки программирования высокого уровня (C, C++, C#, Python, Java и др.), парадигму объектно-ориентированного программирования.

Уметь:

- решать задачи с применением методов исследования операций, теории массового обслуживания, теории случайных процессов, теории конечно-разностных и дифференциальных уравнений, математического и функционального анализа;
- строить вероятностные и детерминированные математические и компьютерные модели систем, анализировать построенные модели аналитическими, асимптотическими и численными методами;
- планировать и проводить вычислительные эксперименты, использовать методы теории погрешностей, теории интерполяции, применять численные методы линейной алгебры, решения алгебраических и дифференциальных уравнений и систем уравнений, методы численного дифференцирования и интегрирования, методы имитационного моделирования и статистической обработки данных;
- интерпретировать данные, полученные в результате математического и компьютерного моделирования, а также оценивать область применимости, практическую и теоретическую значимость полученных результатов.



- работать в пакетах прикладных программ для математиков: Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple;
- проектировать комплексы проблемно-ориентированных программ с применением языка UML;
- программировать на языках высокого уровня (C, C++, C#, Python, Java и других).

Владеть:

- математическим аппаратом исследования операций, теории массового обслуживания и теории дифференциальных уравнений;
- навыками построения вероятностных и детерминированных математических и компьютерных моделей систем;
- аналитическими, асимптотическими, имитационными, численными, статистическими методами анализа исследуемых моделей систем;
- навыками обработки данных и интерпретации результатов, полученных в ходе математического и компьютерного моделирования, а также навыками оценки области применимости;
- навыками работы в пакетах прикладных программ для математиков;
- навыками структурного и объектно-ориентированного проектирования;
- навыками программирования на языках высокого уровня.

4. Язык реализации

Русский и(или) английский (в соответствии с языком освоения ОП аспирантуры и индивидуальным планом работы аспиранта).

5. Объём и структура дисциплины (модуля)

Общая трудоёмкость дисциплины (модуля) составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов:

№ п/п	Раздел дисциплины (модуля)	Период освоения	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоёмкость (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Лекции	Лаб. работы	Прак-тика	Самост. работа	Всего	
1	Раздел 1. Основные вопросы	2	8			28	36	Аналитический обзор, реферат
2	Раздел 2. Дополнительные вопросы		8			28	36	Аналитический обзор, реферат
							36	Кандидатский экзамен
	ВСЕГО		16			54	108	



Самостоятельная работа аспирантов по темам дисциплины реализуется в форме подготовки аналитических обзоров и рефератов.

6. Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Содержание раздела дисциплины (модуля)
1	Раздел 1. Основные вопросы	Тема 1. Математическое моделирование Понятия математической модели и математического моделирования. Математические модели в прикладных областях. Принципы и этапы построения математических моделей. Методы исследования математических моделей. Свойства математических моделей. Проверка адекватности математических моделей. Математические модели информационно-телекоммуникационных систем. Экономико-математические модели. Математические модели рынка ценных бумаг. Модели динамических систем. Случайные потоки событий. Модели теории массового обслуживания. Линейное программирование. Динамическое программирование. Тема 2. Численные методы Интерполяция. Численное дифференцирование. Численное интегрирование. Численные методы поиска экстремума. Вычислительные методы линейной алгебры. Численные методы решения систем дифференциальных уравнений. Методы численного решения нелинейных уравнений и систем. Принципы проведения вычислительного эксперимента и методы обработки его результатов. Методы имитационного моделирования. Компьютерные математические пакеты имитационного моделирования. Пакеты прикладных программ для математиков: Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple и др. Тема 3. Комплексы программ Прикладное программное обеспечение. Формы представления и архитектура комплексов прикладных программ. Структурное проектирование программ. Основные характеристики массивов информации. Способы представления, механизмы и модели порождения данных, основные этапы анализа данных. Базы данных и их реализация. Сравнительный анализ языков программирования высокого уровня. Объектно-ориентированное программирование. Операционные системы. Взаимодействие процессов, многозадачность, алгоритмы синхронизации. Параллельные вычисления. Процесс разработки программного обеспечения. Архитектура программных систем. Язык UML. Паттерны проектирования.
2	Раздел 2. Дополнительные вопросы	Тема 1. Модели массового обслуживания и их приложения Случайные потоки однородных событий. Пуассоновские и рекуррентные потоки. Специальные (коррелированные, дважды стохастические) потоки: MMPP, MAP, BMAP. Полумарковские процессы и потоки событий. Марковские системы массового обслуживания. Граф состояний системы. Методы расчета финальных вероятностей СМО по графу переходов. Системы с повторными вызовами. Системы и сети обслуживания с неограниченным числом приборов. Многофазные системы массового обслуживания и сети. Ресурсные системы массового обслуживания. Применение моделей массового обслуживания для задач передачи информации. Применение моделей массового обслуживания для задач разделения процессора.



	Тема 2. Теория вероятностей. Математическая статистика Аксиоматика теории вероятностей. Вероятность, условная вероятность. Независимость случайных величин. Случайные величины и векторы. Элементы корреляционной теории случайных векторов. Элементы теории случайных процессов. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез. Элементы многомерного статистического анализа. Основные понятия теории статистических решений. Основы теории информации. Тема 3. Дифференциальные уравнения Линейные дифференциальные уравнения и системы. Фундаментальные системы решений. Метод вариации постоянных. Дифференциальные уравнения и системы с постоянными коэффициентами. Общие и частные решения. Устойчивость по Ляпунову. Функция Ляпунова. Асимптотическая устойчивость. Элементы вариационного исчисления. Лагранжиан и уравнения Эйлера-Лагранжа. Принцип максимума Понтрягина. Теоремы Фредгольма для интегральных уравнений. Характеристики уравнений в частных производных. Классификация уравнений в частных производных. Метод разделения переменных. Уравнение Лапласа и эллиптические уравнения. Гармонические функции. принцип максимума. Фундаментальное решение. Уравнение теплопроводности и параболические уравнения. Фундаментальное решение. Задача Коши. Принцип максимума и теорема единственности. Волновое уравнение и гиперболические уравнения. Фундаментальное решение. Задача Коши.
--	---

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

Освоение учебного материала дисциплины (модуля) запланировано в течение одного учебного года.

Текущий контроль знаний осуществляется на протяжении учебного года в ходе освоения дисциплины (модуля).

Промежуточная аттестация проводится в конце учебного года освоения дисциплины (модуля) в форме сдачи кандидатского экзамена (КЭ) комиссии, утверждаемой приказом ректора.

Сданный кандидатский экзамен является образовательным результатом выполнения индивидуального учебного плана аспиранта (ОП1).

Перечень тем с вопросами для подготовки к сдаче кандидатского экзамена:

Раздел 1. Основные вопросы

Тема 1. Математическое моделирование

1. Понятия математической модели и математического моделирования. Математические модели в прикладных областях.

2. Принципы и этапы построения математических моделей. Методы исследования математических моделей.



3. Свойства математических моделей. Проверка адекватности математических моделей.

4. Математические модели информационно-телекоммуникационных систем.
5. Экономико-математические модели.
6. Математические модели рынка ценных бумаг.
7. Модели динамических систем.
8. Случайные потоки событий.
9. Модели теории массового обслуживания.
10. Линейное программирование.
11. Динамическое программирование.

Тема 2. Численные методы

1. Интерполяция.
2. Численное дифференцирование
3. Численное интегрирование.
4. Численные методы поиска экстремума.
5. Вычислительные методы линейной алгебры.
6. Численные методы решения систем дифференциальных уравнений.
7. Методы численного решения нелинейных уравнений и систем.
8. Принципы проведения вычислительного эксперимента и методы обработки его результатов.
9. Методы имитационного моделирования.
10. Компьютерные математические пакеты имитационного моделирования.
11. Пакет прикладных программ для моделирования систем Matlab.
12. Пакет прикладных программ для моделирования систем Mathematica.
13. Пакет прикладных программ для моделирования систем Mathcad.
14. Пакет прикладных программ для моделирования систем Maple.

Тема 3. Комплексы программ

1. Прикладное программное обеспечение. Формы представления и архитектура комплексов прикладных программ.
2. Структурное проектирование программ.
3. Основные характеристики массивов информации. Способы представления, механизмы и модели порождения данных, основные этапы анализа данных.
4. Базы данных и их реализация.
5. Сравнительный анализ языков программирования высокого уровня.
6. Объектно-ориентированное программирование.
7. Операционные системы. Взаимодействие процессов, многозадачность, алгоритмы синхронизации.
8. Параллельные вычисления.
9. Процесс разработки программного обеспечения.
10. Архитектура программных систем.



11. Язык UML.
12. Паттерны проектирования.

Раздел 2. Дополнительные вопросы

Тема 1. Модели массового обслуживания и их приложения

1. Случайные потоки однородных событий. Пуассоновские и рекуррентные потоки.
2. Специальные (коррелированные, дважды стохастические) потоки: MMPP, MAP, BMAP.
3. Полумарковские процессы и потоки событий.
4. Марковские системы массового обслуживания. Граф состояний системы. Методы расчета финальных вероятностей СМО по графу переходов.
5. Системы с повторными вызовами.
6. Системы и сети обслуживания с неограниченным числом приборов.
7. Многофазные системы массового обслуживания и сети
8. Ресурсные системы массового обслуживания.
9. Применение моделей массового обслуживания для задач передачи информации.
10. Применение моделей массового обслуживания для задач разделения процессора.

Тема 2. Теория вероятностей. Математическая статистика

1. Аксиоматика теории вероятностей.
2. Вероятность, условная вероятность. Независимость случайных величин.
3. Случайные величины и векторы.
4. Элементы корреляционной теории случайных векторов.
5. Элементы теории случайных процессов.
6. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения.
7. Элементы теории проверки статистических гипотез.
8. Элементы многомерного статистического анализа.
9. Основные понятия теории статистических решений.
10. Основы теории информации.

Тема 3. Дифференциальные уравнения

1. Линейные дифференциальные уравнения и системы. Фундаментальные системы решений. Метод вариации постоянных.
2. Дифференциальные уравнения и системы с постоянными коэффициентами. Общие и частные решения.
3. Устойчивость по Ляпунову. Функция Ляпунова. Асимптотическая устойчивость.



4. Элементы вариационного исчисления. Лагранжиан и уравнения Эйлера-Лагранжа.
5. Принцип максимума Понтрягина.
6. Теоремы Фредгольма для интегральных уравнений.
7. Характеристики уравнений в частных производных. Классификация уравнений в частных производных. Метод разделения переменных.
8. Уравнение Лапласа и эллиптические уравнения. Гармонические функции. принцип максимума. Фундаментальное решение.
9. Уравнение теплопроводности и параболические уравнения. Фундаментальное решение. Задача Коши. Принцип максимума и теорема единственности.
11. Волновое уравнение и гиперболические уравнения. Фундаментальное решение. Задача Коши.

8. Критерии оценки знаний и навыков

Результаты освоения дисциплины (модуля) определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии.

Кандидатский экзамен проводится в форме письменного экзамена по билетам продолжительностью один академический час и состоит из следующих частей:

1. Основные вопросы.
2. Дополнительные вопросы.
3. Реферат.

Оценка уровня знаний по каждому вопросу осуществляется по пятибалльной шкале со следующим принципом перерасчета:

«отлично» – 5 баллов;

«хорошо» – 4 балла;

«удовлетворительно» – 3 балла;

«неудовлетворительно» – 1–2 балла.

При оценивании ответов на каждый из вопросов экзаменационного билета учитываются следующие критерии:

Ответ на вопрос исчерпывающий, продемонстрировано понимание и знание сути вопроса в полном объеме. Замечаний нет.	5 баллов
Ответ на вопрос неполный, но раскрывающий основную суть вопроса, продемонстрировано понимание и знание вопроса в достаточном объеме. Замечания незначительные.	4 балла
Ответ неполный с существенными замечаниями, знания по вопросу фрагментарные и частичные, в том числе и по тематике диссертационного исследования.	3 балла
Ответ на вопрос отсутствует или дан неправильный	1–2 балла



Пример экзаменационного билета:

Билет 1

Основные вопросы:

1. Математические модели информационно-телекоммуникационных систем.
2. Численное дифференцирование.

Дополнительные вопросы:

1. Полумарковские процессы и потоки событий.

Для сдачи кандидатского экзамена аспирант должен предварительно представить реферат по теме диссертационного исследования с обзором современных исследований по теме диссертации не менее 40 источников литературы.

Оценка «отлично» за реферат ставится, если:

- содержание реферата точно соответствует теме, отсутствуют ошибки в изложении и оформлении реферата;
- материал освещен в проблемном аспекте при достаточном фактологическом изложении;
- ссылки на работы известных ученых и новейшую литературу отличаются полнотой; • изложено свое видение проблемы и аргументация своей позиции с помощью фактов;
- содержание связано с темой диссертационного исследования.

Оценка «хорошо» за реферат ставится, если:

- содержание реферата соответствует теме, допущены негрубые ошибки в изложении и оформлении реферата;
- обозначены основные проблемы изучения заявленного в теме вопроса при достаточном фактологическом изложении;
- даны ссылки на работы известных ученых и новейшую литературу; • изложено свое видение проблемы и приведен ряд аргументов своей позиции с помощью фактов;
- содержание связано с темой диссертационного исследования.

Оценка «удовлетворительно» за реферат ставится, если:

- содержание реферата соответствует теме, допущены ошибки в изложении и оформлении реферата;
- поверхностное фактологическое изложение;
- даны ссылки на ряд работ известных ученых и новейшую литературу;
- содержание связано с темой диссертационного исследования.

Оценка «неудовлетворительно» за реферат ставится, если:

- содержание реферата не соответствует теме, допущены грубые ошибки в изложении и оформлении реферата;



- не изложено свое видение проблемы и не приведены аргументы своей позиции;
- содержание не связано с темой диссертационного исследования.

Итоговая оценка за кандидатский экзамен выставляется решением экзаменационной комиссии:

«отлично» – при наличии не менее 80% 5-балльных ответов и отсутствии 3-2-1-балльных ответов;

«хорошо» – при наличии не менее 80% 4-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«удовлетворительно» – при наличии более 20% 3-балльных ответов и отсутствии 2-1-балльных ответов;

«неудовлетворительно» – при наличии 1-2 балльного ответа (или отказа отвечать на вопрос).

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература по разделу 1

1. Saad Y. Iterative methods for sparse linear systems. 2nd Edition. SIAM, 2003.
2. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Введение в UML от создателей языка. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 496 с.
3. Василевский Ю., Капырин И. Практикум по современным вычислительным технологиям и основам математического моделирования. – М.: Макс-ПРЕСС, 2009. – 60 с.
4. Гагарина Л.Г., Кокорева Е.В., Виснадул Б.Д. Технология разработки программного обеспечения : учеб. пособие / под ред. Л.Г. Гагариной. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2016. – 400 с.
5. Гагарина Л.Г., Федоров А.Р., Федоров П.А. Введение в архитектуру программного обеспечения : учебное пособие. – М.: ИД ФОРУМ, НИЦ ИНФРА-М, 2016. – 320 с.
6. Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссидес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб.: Питер, 2020. – 448 с.
7. Горлач Б.А., Шахов В.Г. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация: учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2022. – 292 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/200447> (дата обращения: 12.04.2022).
8. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения: учеб. пособие. – СПб. [и др.]: Лань, 2016. – 400 с.
9. Деммель Дж. Вычислительная линейная алгебра. Теория и приложения. М.: Мир, 2001. – 430 с.
10. Калиткин Н.Н. Численные методы: [учеб. пособие для студентов университетов и высших технических учебных заведений] ; под ред. А.А. Самарского. – СПб: БХВ-Петербург, 2014. – 586 с.



11. Колдаев В.Д. Структуры и алгоритмы обработки данных : учебное пособие. – М.: РИОР [и др.], 2014. – 295 с.
12. Панюков А.В. Математическое моделирование экономических процессов: [учебное пособие для студентов экономических и математических специальностей, преподавателей вузов]. – М.: Ленанд, 2015. – 191 с.
13. Прохоров С.А., Куликовских И.М. Численные методы, алгоритмы и комплексы программ для проведения вычислительного и натурного экспериментов: учеб. пособие. – [Текст: электронный]. – Самара: Инсома-пресс, 2019. – 1 файл (6,19 Мб).
14. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры: монография. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 320 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/59285> (дата обращения: 14.05.2021).
15. Тыртышников Е.Е. Методы численного анализа. – М.: Академия, 2007. – 320 с.

Дополнительная литература по разделу 1:

1. Акимов П.А. Информатика и прикладная математика. – М.: АСВ, 2016. – 588 с.
2. Ануфриев И.Е., Смирнов А., Смирнова Е. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с. – URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2016/000445594/000445594.pdf>
3. Белостоцкий М.М., Акимов П.А., Кайтуков Т.Б. Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений. – М.: АСВ, 2018. – 712 с.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы. Методологии. – М.: Наука. Физматлит, 1980. – 206 с.
5. Вержбицкий В.М. Основы численных методов: учебник для студентов вузов по направлению подготовки дипломированных специалистов «Прикладная математика». – М.: Высшая школа, 2009. – 847 с.
6. Воскобойников Ю.Е., Задорожный А.Ф. Основы вычислений и программирования в пакете MathCAD PRIME. – СПб.: Лань, 2021. – 224 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/169249>
7. Грекова Т.И. Численные методы: вычисление интегралов, нелинейные уравнения, вычисление собственных чисел и собственных векторов матриц, системы линейных алгебраических уравнений: учеб. пособие. – Том. гос. ун-т, ФПМК. – Томск: ТГУ, 2009. – 122 с.
8. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. – М.: Вильямс, 2013. – 736 с.
9. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++. Классика Computer Science. – 4-е изд. – СПб.: Питер. 2008. – 928 с.
10. Лобанов А.И., Петров И.Б. Математическое моделирование нелинейных процессов. – М.: Юрайт, 2018. – 255 с.
11. Назаров А.А., Моисеева С.П. Метод асимптотического анализа в теории массового обслуживания. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 109 с.



12. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Теория вероятностей и случайных процессов: учеб. пособие. – Томск: НТЛ, 2010. – 199 с. –
URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000398228>
13. Павловская Т.А. С#. Программирование на языке высокого уровня: учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2014. – 432 с.
14. Плис А.И., Сливина Н.А. MATHCAD 2000: Математический практикум для экономистов и инженеров. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 655 с.
15. Смагин В.И., Решетникова Г. Н. Численные методы. Аппроксимация, дифференцирование и интегрирование: учеб. пособие. – Томск: Изд. Том. ун-та, 2008. – 181 с.
16. Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2018. – 592 с.
17. Тимохин А.Н., Румянцев Ю.Д. Моделирование систем; под ред. А.Н. Тимохина. – М.: ИНФРА-М, 2017. – 256 с.
18. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1979. – 285 с.
19. Фаулер М. UML. Основы (3-е издание). – М.: Символ-плюс, 2019. – 192 с.
20. Фленов М.Е. Библия С#. – 2-е изд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 560 с.
21. Чуликов А.И. Математические методы нелинейной динамики. – М.: Физматлит, 2000. – 294 с.
22. Ерохин А. Язык С# и платформа. NET Framework [Электронный ресурс], 2016. – URL: https://professorweb.ru/my/csharp/charp_theory/level7/7_6.php

Литература по разделу 2:

1. Башарин Г.П. Лекции по математической теории телетрафика: Учеб. пособие. М.: РУДН., 2009. – 342 с.
2. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: КомКнига, 2005.
3. Назаров А.А., Терпугов А.Ф. Теория массового обслуживания: Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2004. – 288 с.
4. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. – Телеком 2015. – 337 с.
5. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
6. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – М., Наука, 1968.
7. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М., Наука, 1988. – 436 с.
8. Понтрягин Л.С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. – М., Физматгиз, 1961. – 331 с.
9. Петровский И.Г. Лекции об уравнениях с частными производными. – М., Физматгиз, 1961. – 400 с.



10. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1972. – 736 с.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. Электронная библиотечная система «Университетская библиотека ONLINE». – URL: <https://biblioclub.ru/>
2. Электронная библиотечная система издательства «Лань». – URL: <https://e.lanbook.com/>
3. Образовательная платформа «Юрайт». – URL: <https://urait.ru/>
4. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU. – URL: <https://www.elibrary.ru/>
5. Общероссийский портал Math-Net.Ru — это современная информационная система, предоставляющая российским и зарубежным ученым различные возможности в поиске научной информации по математике, физике, информационным технологиям и смежным наукам. – URL: <https://www.mathnet.ru/>
6. Международная издательская компания, специализирующаяся на издании академических журналов и книг по естественно-научным направлениям. – URL: <https://link.springer.com/>
7. Теория случайных процессов : учебно-методический комплекс [Электронный ресурс] / Назаров А. А., Терпугов А. Ф., Цой С. А. ; Том. гос. ун-т, Ин-т дистанционного образования. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000243745>
8. Теория случайных процессов : учебно-методический комплекс [Электронный ресурс] / Назаров А. А., Терпугов А. Ф., Цой С. А. ; Том. гос. ун-т, Ин-т дистанционного образования Томск : ИДО ТГУ, 2007. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000243884>
9. Экономико-математическое моделирование: учебное пособие [Электронный ресурс] / Степанов В. И., Терпугов А. Ф. – М.: Академия, 2009. – 111 с. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000369174>
10. Научная библиотека ТГУ. – URL: <http://www.lib.tsu.ru/>
11. Электронная библиотека диссертаций РГБ. – URL: <http://www.diss.rsl.ru/>
12. Научная электронная библиотека. – URL: <http://elibrary.ru/>



10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое оборудование, используемое при реализации дисциплины:

- аудитории для проведения занятий лекционного типа;
- аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы, оснащённые компьютерной техникой с выходом в интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационно-справочным системам;
- лаборатории, оборудованные компьютерной техникой со специализированным программным обеспечением;
- аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).