

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Шевчик Андрей Павлович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 18.11.2022 14:30:47  
Уникальный программный ключ:  
476b4264da36714552dc83748d2961662bab012



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Санкт-Петербургский государственный технологический институт**  
**(технический университет)»**  
**(СПбГТИ(ТУ))**

Утверждаю  
Ректор

\_\_\_\_\_ А.П. Шевчик

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И**  
**КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ**

**Научная специальность**  
**1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

**Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

Очная форма обучения

**Санкт-Петербург**  
**2022**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

### РАЗРАБОТЧИКИ

Должность, ученое звание	Подпись	Фамилия, инициалы
Заведующий кафедрой САПРиУ, профессор		Чистякова Т.Б.
Доцент кафедры САПРиУ, доцент		Полосин А.Н.

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» рассмотрена и утверждена на заседании кафедры систем автоматизированного проектирования и управления  
протокол от «28» января 2022 г. № 5

Заведующий кафедрой  
систем автоматизированного проектирования и  
управления

Чистякова Т.Б.

### СОГЛАСОВАНО

Ответственный за подготовку программы – заведующий кафедрой САПРиУ, профессор		Чистякова Т.Б.
Ответственный за подготовку программы – доцент кафедры САПРиУ, доцент		Полосин А.Н.
Проректор по научной работе		Гарабаджиу А.В.
Начальник отдела аспирантуры и докторантуры		Еронько О.Н.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов освоения дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры.....	4
3. Объем дисциплины.....	4
4. Содержание дисциплины.....	5
5. Порядок проведения промежуточной аттестации.....	12
6. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.....	12
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	16
8. Методические указания для аспирантов по освоению дисциплины.....	17
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	17
10. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	18
11. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	19

## 1. Перечень планируемых результатов освоения дисциплины.

Цель изучения дисциплины – углубленное изучение наиболее важных и актуальных теоретических и практических вопросов, охватываемых паспортом научной специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, приобретение навыков использования научных методов и средств для решения теоретических и прикладных задач научной специальности, подготовка к сдаче кандидатского экзамена по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы».

Задачи изучения дисциплины:

- систематизация, углубление и расширение теоретических знаний в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ;
- овладение методами и технологиями научных исследований в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ;
- подготовка к сдаче кандидатского экзамена по специальности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы».

В результате освоения программы аспирантуры аспирант должен продемонстрировать следующие обобщенные результаты освоения дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы»:

- способность демонстрировать и применять в научной деятельности углубленные знания в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ;
- свободное владение методами решения научных задач, связанных с построением и исследованием математических моделей, разработкой алгоритмов компьютерного и имитационного моделирования, вычислительных алгоритмов и проблемно-ориентированных программных комплексов для проведения вычислительных экспериментов, планированием экспериментов и статистическим анализом их результатов;
- способность применять современные компьютерные технологии при алгоритмизации и программной реализации математических моделей и статистическом анализе результатов натуральных и вычислительных экспериментов.

## 2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры.

Дисциплина «Математическое моделирование, численные методы и комплексы» относится к образовательному компоненту программы аспирантуры и представляет обязательные элективные дисциплины, направленные на подготовку к сдаче кандидатских экзаменов. Дисциплина изучается на 2 курсе в 3 и 4 семестрах.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы» знания, умения и навыки используются в научной деятельности аспиранта.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, акад. часы
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/академических часов)	<b>5/180</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>40</b>
Обзорно-установочные лекции и консультации	40
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>104</b>

Вид учебной работы	Всего, акад. часы
	Очная форма обучения
<b>Форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен</b> (4 семестр)	<b>36</b>

Рабочая программа дисциплины рассчитана на 5 зачетных единиц (**180** акад. часов), из них 22 % составляют аудиторные занятия, включающие обзорно-установочные лекции и консультации с преподавателем. Основная часть работы аспиранта является самостоятельной и включает изучение рекомендованной литературы и электронных ресурсов, подготовку к кандидатскому экзамену.

Обзорно-установочные лекции и консультации могут проводиться, в том числе с использованием дистанционных образовательных технологий, электронного обучения.

#### 4. Содержание дисциплины.

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Обзорно-установочные лекции, консультации, акад. часы	Самостоятельная работа, акад. часы
1	Методы построения и исследования математических моделей. Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования. Планирование и анализ результатов экспериментов. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов	18	86
2	Численные методы и алгоритмы анализа математических моделей и принципы их программной реализации	8	12
3	Методы и технологии разработки проблемно-ориентированных программных комплексов для проведения вычислительных экспериментов по исследованию технических объектов и систем	14	6
<b>Итого</b>		<b>40</b>	<b>104</b>

##### 4.2. Обзорно-установочные лекции.

№ раздела	Наименование тем обзорно-установочных лекций	Объем, акад. часы
1	<u>Методы построения и исследования математических моделей</u> Основные понятия теории математического моделирования. Принципы моделирования. Классификация математических моделей. Требования, предъявляемые к математическим моделям. Этапы математического моделирования. Формализованное (информационное) описание объекта предметной области как объекта	4

№ раздела	Наименование тем обзорно-установочных лекций	Объем, акад. часы
	<p>моделирования. Построение математических моделей на основе фундаментальных законов природы.</p> <p>Качественные и аналитические методы исследования математических моделей. Аналитические методы исследования моделей статики и динамики объектов с сосредоточенными и распределенными параметрами. Метод разделения переменных как способ построения аналитических моделей объектов с распределенными параметрами.</p> <p>Преобразования моделей и их численный анализ. Выбор параметров математической модели, предварительные преобразования. Линейно-параметризованные модели, преобразование статических и динамических моделей. Анализ моделей.</p> <p>Проверка адекватности математических моделей. Критерии адекватности.</p>	
1	<p><u>Методы и алгоритмы имитационного и компьютерного моделирования</u></p> <p>Имитационное моделирование. Общие характеристики. Области применения имитационных моделей. Автоматические и диалоговые имитационные модели. Описание поведения системы, моделирование случайных факторов, управление модельным временем.</p> <p>Стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Обработка и анализ результатов моделирования. Оценка качества имитационной модели. Подбор параметров распределений, оценка влияния и взаимосвязи факторов.</p> <p>Унифицированный язык моделирования (UML). Основные компоненты UML, описание семантики UML, графическая нотация, описание дополнительных понятий. Диаграммы классов, вариантов использования, взаимодействия, последовательности, кооперативные диаграммы, диаграммы состояний, деятельности и размещения. Объект, составной объект, активный объект. Ассоциации, роли.</p> <p>Программные системы имитационного моделирования: классификация, сравнительное описание возможностей и характеристик пакетов. Управление временем, выбор шага моделирования, управление окончанием моделирования, управление потоками событий, использование подсистем, входы, выходы и переходы, создание собственной библиотеки блоков, обработка и анализ результатов моделирования, взаимодействие с другими инструментальными приложениями.</p> <p>Универсальные математические пакеты как средства компьютерного моделирования технических объектов и систем. Характеристика (решаемые задачи, функциональные возможности) и примеры универсальных математических пакетов.</p> <p>Модели нечеткой логики. Соотношение классических и нечетких множеств. Степень принадлежности как субъективная мера оценки вероятности и возможности. Функции принадлежности. Нечеткие числа, нечеткие переменные и операции над ними.</p> <p>Нечеткая лингвистическая переменная. Нечеткие логические правила продукции. База знаний для нечетких продукционных моделей. Нечеткий вывод: фаззификация и нечеткая инференция.</p>	6

№ разде- ла	Наименование тем обзорно-установочных лекций	Объем, акад. часы
	<p>Дефаззификация и другие методы оценки результатов нечеткого вывода.</p> <p>Программные комплексы разработки нечетких моделей. Методика построения нечетких моделей.</p> <p>Искусственные нейронные сети. Биологический нейрон, свойства естественных нейронных сетей. Три базовые функции искусственного нейрона. Три основные свойства искусственной нейронной сети. Топология искусственной нейронной сети. Топология и способность сети к классификации.</p> <p>Обучение искусственной нейронной сети. Обучение с наблюдателем и без наблюдателя. Многослойный перцептрон и обучение методом обратного распространения ошибки. Самоорганизующиеся карты Кохонена как пример обучения сети без наблюдателя. Алгоритм обучения.</p> <p>Сравнительные характеристики моделей на базе нечеткой логики и на основе искусственных нейронных сетей. Гибридные нейро-фаззи-модели.</p>	
1	<p><u>Планирование и анализ результатов экспериментов</u></p> <p>Классификация и основные принципы планирования натуральных экспериментов. Требования, предъявляемые к факторам и откликам при планировании экспериментов. Структура планов экспериментов различных типов.</p> <p>Постановка задачи обработки экспериментальных данных при структурно-параметрическом синтезе эмпирических моделей. Виды эмпирических моделей. Этапы обработки экспериментальных данных при синтезе и анализе эмпирических моделей. Алгоритмы структурно-параметрического синтеза эмпирических моделей на основе метода наименьших квадратов и метода Брандона. Проверка адекватности эмпирических моделей при наличии и отсутствии параллельных опытов.</p>	2
1	<p><u>Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов</u></p> <p>Уровни математического описания.</p> <p>Характеристика детерминированных моделей: линейные и нелинейные градиентные законы переноса физических субстанций (массы, импульса, энергии). Задание краевых условий.</p> <p>Виды математических моделей для описания структур веществ и материалов и их связи со свойствами веществ и материалов.</p> <p>Методы и алгоритмы расчета параметров свойств композиционных материалов.</p> <p>Реологические модели ньютоновских и аномально-вязких сред.</p> <p>Идеальные математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии.</p> <p>Моделирование кинетики химических реакций.</p> <p>Методы и алгоритмы планирования и обработки результатов экспериментов в химии и химической технологии. Решение обратной задачи химической кинетики. Использование современных компьютерных технологий для построения эмпирических моделей химико-технологических объектов.</p>	6

№ разде- ла	Наименование тем обзорно-установочных лекций	Объем, акад. часы
	<p>Понятие об оптимизации химико-технологических процессов. Постановка задач оптимизации. Выбор свободных параметров оптимизации. Критерии оптимизации. Многокритериальная оптимизация. Методы решения задач оптимизации, реализованные в современных программных продуктах. Характеристика безградиентных и градиентных методов нелинейного программирования. Методы глобальной оптимизации. Оптимизация с учетом чувствительности и неопределенности исходной информации.</p> <p>Биоинспирированные методы оптимизации технических объектов и систем. Генетические алгоритмы.</p> <p>Характеристика информационно-моделирующих программных комплексов. Особенности использования информационно-моделирующих программных комплексов для расчета статических и динамических режимов химико-технологических систем.</p>	
2	<p><u>Теория приближения таблично заданных функций</u></p> <p>Постановка задачи приближения функций. Соотношение между интерполяцией и аппроксимацией функциональных зависимостей. Интерполяционный многочлен Лагранжа и его единственность. Особенности, присущие интерполяционным формулам Ньютона, Бесселя, Стирлинга, Гаусса. Интерполирование сплайнами.</p> <p>Численное дифференцирование и интегрирование.</p> <p>Использование метода наименьших квадратов и метода Чебышева для решения задач аппроксимации.</p>	2
2	<p><u>Численное решение систем алгебраических уравнений</u></p> <p>Системы линейных алгебраических уравнений. Метод прогонки и его отличие от метода последовательного исключения неизвестных (метода Гаусса). Использование прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений.</p> <p>Итерационные методы простой итерации (Якоби), Гаусса–Зейделя и Ньютона–Рафсона; их применение к решению нелинейных уравнений и их систем. Использование метода обратного интерполирования для решения нелинейных уравнений. Численные методы решения трансцендентных уравнений.</p> <p>Основные характеристики компьютерной реализации итерационных методов.</p>	2
2	<p><u>Численные методы решения дифференциальных уравнений</u></p> <p>Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Сравнение методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Алгоритмы автоматического поиска устойчивого шага интегрирования: алгоритм «трех зон»; алгоритм плавного изменения шага.</p> <p>Метод конечных разностей: основные понятия теории разностных схем, этапы метода. Построение дискретных аналогов сплошных сред – пространственно-временных разностных сеток. Методы построения разностных схем. Характеристики разностных схем. Библиотеки явных и неявных разностных схем для уравнений различных типов. Методы аппроксимации граничных условий Неймана и Робина. Априорные показатели качества разностных схем: согласованность,</p>	4

№ раздела	Наименование тем обзорно-установочных лекций	Объем, акад. часы
	<p>устойчивость, сходимость, точность. Методы анализа устойчивости. Условия устойчивости явных разностных схем для уравнений параболического и гиперболического типов. Теорема Лакса о сходимости. Методы линеаризации разностных уравнений. Прямые и итерационные методы решения разностных уравнений. Устойчивость и эффективность вычислительных алгоритмов. Методы автоматического поиска устойчивых шагов расчета. Прием Рунге.</p> <p>Вариационные методы численного интегрирования систем дифференциальных уравнений: метод конечных элементов, метод граничных элементов (их идеология и области применения). Основные этапы реализации метода конечных элементов Галеркина.</p>	
3	<p><u>Жизненный цикл программных комплексов</u></p> <p>Понятие и этапы жизненного цикла программных комплексов. Национальные и международные стандарты, регламентирующие этапы и процессы жизненного цикла программных комплексов. Цели и критерии качества этапов жизненного цикла программных комплексов. Стандарт ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010 «Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств». Модели жизненного цикла программных комплексов.</p> <p>Методология функционального (структурного) проектирования сложных программных комплексов SADT (IDEF0). Концепция IDEF0. Элементы графического языка IDEF0 (блоки, стрелки). Компоненты функциональной модели: графические диаграммы (A-0, родительские, дочерние); текст; глоссарий. Характеристики графических диаграмм. Декомпозиция блоков. Правила построения диаграмм. Методика разработки функциональных моделей сложных программных комплексов.</p>	2
3	<p><u>Структура проблемно-ориентированного программного комплекса для проведения вычислительных экспериментов. Методы организации данных</u></p> <p>Принципы проведения вычислительного эксперимента. Модель, алгоритм, программный комплекс.</p> <p>Проектирование структуры программного комплекса: основные этапы, структурный анализ, структурное проектирование.</p> <p>Определение основных компонентов комплекса. Методы разработки данных. Методы разработки средств управления. Проектная документация.</p> <p>Типы данных. Уровни их организации. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физическая организация данных. Документирование данных.</p>	2
3	<p><u>Алгоритмы и методы их построения</u></p> <p>Алгоритмы. Типы, способы реализации. Методы построения алгоритмов: метод «разделяй и властвуй», методы последовательного приближения, наискорейшего спуска, обратного прохода, динамического программирования, метод поиска с возвратом. Метод выделения подцелей, метод моделирования.</p>	2
3	<p><u>Алгоритмические языки и технологии программирования</u></p> <p>Назначение и структура языков программирования высокого</p>	2

№ раздела	Наименование тем обзорно-установочных лекций	Объем, акад. часы
	уровня, основные операторы. Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование.	
3	<u>Проектирование проблемно-ориентированных программных комплексов</u> Метод нисходящего проектирования. Метод расширения ядра. Метод восходящего проектирования. Анализ внутренних потоков данных. Программные модули. Структурированные алгоритмы. Схемы передачи управления. Управляющие таблицы.	2
3	<u>Верификация, защита и оптимизация проблемно-ориентированных программных комплексов</u> Проверка правильности программных комплексов. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Формальные методы доказательства правильности программ. Средства защиты программных комплексов. Оптимизация программ. Экономия памяти. Экономия времени. Повышение эффективности программ. Средства оптимизации.	2
3	<u>Регистрация проблемно-ориентированных программных комплексов</u> Методика подготовки документов для подачи заявок на государственную регистрацию проблемно-ориентированных программных комплексов.	2
<b>Итого</b>		<b>40</b>

#### 4.3. Самостоятельная работа аспирантов.

№ раздела	Наименование тем для самостоятельной работы	Объем, акад. часы
1	Методология математического моделирования. Концептуальная модель. Выбор структуры математической модели.	2
1	Модели состояния динамических систем. Хаотические модели. Принципы выбора модели.	4
1	Элементы теории случайных процессов. Методы моделирования случайных процессов. Дискретные модели линейных стационарных систем и стационарных случайных процессов. Моделирование стационарных процессов с типовыми корреляционными функциями. Дискретные модели линейных нестационарных систем.	6
1	Объектно-классификационное моделирование. Содержание понятия «объект», моделирование атрибутов объектов, классификация и пространство идентификаторов объектов. Состояние, пространство состояний объекта.	4
1	Моделирование отношений между объектами и классами объектов. Классификационный подход к определению отношений. Моделирование состояний объекта, отношений между параметрами объектов и отношений между различными объектами. Теоретико-множественная модель класса объектов.	4
1	Моделирование параллельных процессов. Виды параллельных	4

№ раздела	Наименование тем для самостоятельной работы	Объем, акад. часы
	процессов в сложных системах, методы их описания, применение сетевых моделей для описания параллельных процессов.	
1	Моделирующие программные комплексы как средство анализа и синтеза динамических систем. Виды технических средств моделирования. Уровни и структуры программных средств моделирования.	4
1	Роль математического моделирования в процессе принятия решений. Общая схема процесса принятия решений. Байесовский и минимаксный подходы. Классификация задач принятия решений.	6
1	Методы планирования натуральных экспериментов. Случайные величины. Точечное и интервальное оценивание параметров распределения. Элементы теории проверки статистических гипотез. Элементы многомерного статистического анализа. Методы статистического анализа результатов натуральных экспериментов.	8
1	Использование детерминированных и формальных моделей химико-технологических процессов. Deskриптивные и оптимизационные модели, их назначение. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами. Две основные части математической модели.	6
1	Линейные градиентные законы переноса. Диффузионный перенос массы, импульса, энергии. Дифференциальные математические модели переноса массы, импульса, энергии.	4
1	Построение математических моделей в случае нелинейных градиентных законов переноса. Нелинейные эффекты при массо-, энергопереносе и переносе импульса.	4
1	Краевые условия к детерминированным математическим моделям. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.	4
1	Модели зависимости вязкости от температуры, давления, молекулярной массы. Модели для расчета вязкости смесей.	4
1	Математические модели смесителей, делителей потоков без химического превращения, теплообменников, процессов и аппаратов гетерогенного разделения, химических реакторов, насосов, трубопроводов, компрессоров.	6
1	Расчет динамических режимов химико-технологических систем. Общая характеристика динамических режимов. Нестационарные модели элементов химико-технологических систем.	4
1	Компьютерное исследование химико-технологических систем с учетом надежности. Понятие о надежности химико-технологической системы. Вероятностные и эксплуатационные количественные характеристики надежности. Вычисление надежности химико-технологических систем для различных структур. Резервирование для повышения надежности.	6
1	Особенности решения задач оптимизации химико-технологических систем с помощью информационно-моделирующих программных комплексов.	4
2	Методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Алгоритмы решения «жестких»	6

№ раздела	Наименование тем для самостоятельной работы	Объем, акад. часы
	дифференциальных задач.	
2	Особенности применения метода конечных элементов для различных типов объектов с распределенными параметрами.	4
3	Технология разработки компьютерных моделей для исследования химико-технологических объектов в инструментальных объектно-ориентированных средах. Структура интерфейса исследователя. Компьютерный синтез и визуализация трехмерных графических моделей для исследования распределений параметров состояния объектов по пространственным координатам и времени с использованием библиотек графических компонентов.	4
1–3	Формирование материалов для подготовки дополнительной программы кандидатского экзамена, соответствующей теме диссертации.	6
<b>Итого</b>		<b>104</b>

## 5. Порядок проведения промежуточной аттестации.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме кандидатского экзамена в соответствии с избранной специальностью.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных результатов обучения по дисциплине и комплектуется вопросами, представленными в программе кандидатского экзамена по научной специальности 1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

## 6. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины.

### а) печатные учебные издания:

1. Васильев, Ф. П. Методы оптимизации : учебник для вузов. В 2 частях. Часть 1. Конечномерные задачи оптимизации. Принцип максимума. Динамическое программирование / Ф. П. Васильев. – Изд. новое, перераб. и доп. – Москва : МЦНМО, 2011. – 619 с. – ISBN 978-5-94057-706-5.

2. Волков, Е. А. Численные методы : учебное пособие / Е. А. Волков. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008. – 248 с. – ISBN 978-5-8114-0538-1.

3. Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : учебник для вузов / В. С. Зарубин. – 3-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с. – ISBN 978-5-7038-3022-2.

4. Комаров, П. И. Математические методы в САПР. Аналитические методы решения краевых задач математической физики : учебное пособие / П. И. Комаров ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2009. – 99 с.

5. Компьютерные технологии построения математических моделей химико-технологических процессов на основе полного факторного эксперимента : учебное пособие / В. А. Холоднов, В. М. Крылов, В. П. Андреева [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра математического моделирования и оптимизации химико-технологических процессов. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2010. – 53 с.

6. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : учебное пособие для

вузов / Г. И. Марчук. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2009. – 608 с. – ISBN 978-5-8114-0892-4.

7. Морозов, В. К. Моделирование информационных и динамических систем : учебное пособие для вузов / В. К. Морозов, Г. Н. Рогачев. – Москва : Академия, 2011. – 377 с. – ISBN 978-5-7695-4221-3.

8. Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учебное пособие для вузов / И. П. Норенков. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с. – ISBN 978-5-7038-3446-6.

9. Расчеты химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. Ф. Туболкин, Е. С. Тумаркина, Э. Я. Тарат [и др.] ; под редакцией И. П. Мухленова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Альянс, 2015. – 248 с. – ISBN 978-5-91872-079-0.

10. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – Москва : Юрайт, 2013. – 343 с. – ISBN 978-5-9916-2698-9.

11. Чистякова, Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами : учебное пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 240 с. – ISBN 978-5-91884-015-3.

12. Чистякова, Т. Б. Применение универсальных моделирующих программ для синтеза и анализа технологических процессов : учебное пособие / Т. Б. Чистякова, Л. В. Гольцева, А. В. Козлов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2011. – 65 с.

#### **б) электронные учебные издания:**

13. Андрианова, А. А. Алгоритмизация и программирование. Практикум : учебное пособие / А. А. Андрианова, Л. Н. Исмагилов, Т. М. Мухтарова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 240 с. – ISBN 978-5-8114-3336-0 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

14. Агаянц, И. М. Азы статистики в мире химии: Обработка экспериментальных данных / И. М. Агаянц. – Санкт-Петербург : НОТ, 2015. – 618 с. – ISBN 978-5-91703-044-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

15. Гартман, Т. Н. Моделирование химико-технологических процессов. Принципы применения пакетов компьютерной математики : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 404 с. – ISBN 978-5-8114-3900-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

16. Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учебное пособие для вузов / Н. В. Голубева. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-8721-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

17. Гумеров, А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / А. М. Гумеров. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 176 с. – ISBN 978-5-8114-1533-5 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

18. Затонский, А. В. Моделирование объектов управления в MatLab : учебное пособие / А. В. Затонский, Л. Г. Тугашова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 144 с. – ISBN 978-5-8114-3270-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

19. Компьютерные технологии моделирования процессов получения высокотемпературных наноструктурированных материалов : учебное пособие / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, И. В. Новожилова, Л. В. Гольцева ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2013. – 223 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

20. Котлинский, С. В. Разработка моделей предметной области автоматизации : учебник для вузов / С. В. Котлинский. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2021. – 412 с. – ISBN 978-5-8114-8035-7 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

21. Марков, Ю. Г. Математические модели химических реакций : учебник / Ю. Г. Марков, И. В. Маркова. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2013. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-1483-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

22. Палей, А. Г. Имитационное моделирование. Разработка имитационных моделей средствами iWebsim и AnyLogic : учебное пособие / А. Г. Палей, Г. А. Поллак. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-3844-0 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

23. Флегонтов, А. В. Моделирование информационных систем. Unified Modeling Language : учебное пособие / А. В. Флегонтов, И. Ю. Матюшичев. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 112 с. – ISBN 978-5-8114-2907-3 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

**в) вспомогательные печатные и электронные источники:**

24. Барботько, А. И. Основы теории математического моделирования : учебное пособие для вузов / А. И. Барботько, А. О. Гладышкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 209 с. – ISBN 978-5-94178-148-5.

25. Барков, И. А. Объектно-ориентированное программирование : учебник / И. А. Барков. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2019. – 700 с. – ISBN 978-5-8114-3586-9 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке

26. Власова, Е. А. Приближенные методы математической физики : учебник для вузов / Е. А. Власова, В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин ; под редакцией В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 699 с. – ISBN 5-7038-1768-4.

27. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – Москва : Академкнига, 2006. – 416 с. – ISBN 5-94628-268-9.

28. Гиляров, В. Н. Нечеткие интеллектуальные химико-технологические системы : методические указания / В. Н. Гиляров ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра систем автоматизированного проектирования и управления. – Санкт-Петербург : [б. и.], 2005. – 46 с.

29. Гусятников, В. Н. Стандартизация и разработка программных систем : учебное пособие для вузов / В. Н. Гусятников, А. И. Безруков. – Москва : Финансы и статистика : ИНФРА-М, 2010. – 288 с. – ISBN 978-5-279-03450-5.

30. Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – Санкт-Петербург [и др.] :

Лань, 2010. – 376 с. – ISBN 978-5-8114-1032-3.

31. Интеллектуальные системы технологического проектирования, управления и обучения в многоассортиментном производстве гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц / Т. Б. Чистякова, Ю. И. Шляго, И. В. Новожилова, Н. В. Мальцева. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2012. – 324 с. – ISBN 978-5-905240-47-8.

32. Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учебное пособие / А. П. Карпенко. – 2-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 446 с. – ISBN 978-5-7038-4634-6.

33. Компьютерные программы для решения задач многоцелевой оптимизации в химической технологии : учебное пособие для вузов / В. А. Холоднов, Д. А. Краснобородько, Р. Ю. Кулишенко, М. Ю. Лебедева. – Москва : Юрайт, 2022. – 196 с. – ISBN 978-5-534-14875-6.

34. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ / Р. Лафоре. – 4-е изд. – Москва [и др.] : Питер, 2015. – 928 с. – ISBN 978-5-496-00353-7.

35. Лесин, В. В. Основы методов оптимизации : учебное пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2011. – 341 с. – ISBN 978-5-8114-1217-4.

36. Липаев, В. В. Тестирование компонентов и комплексов программ : учебник / В. В. Липаев. – Москва : СИНТЕГ, 2010. – 400 с. – ISBN 978-5-89638-115-0.

37. Математическое моделирование технологических процессов : учебное пособие для вузов / В. С. Балакирев, С. И. Дворецкий, Н. Н. Аниськина, В. Н. Акишин. – Ярославль : Издательский дом Н. П. Пастухова, 2018. – 351 с. – ISBN 978-5-904937-09-6.

38. Моделирование систем : учебник для вузов / С. И. Дворецкий, Ю. Л. Муромцев, В. А. Погонин, А. Г. Схиртладзе. – Москва : Академия, 2009. – 316 с. – ISBN 978-5-7695-4737-9.

39. Незнанов, А. А. Программирование и алгоритмизация : учебник для вузов / А. А. Незнанов. – Москва : Академия, 2010. – 304 с. – ISBN 978-5-7695-6767-4 // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

40. Нечеткое моделирование и управление в технических системах : учебное пособие / Ю. И. Кудинов, Ф. Ф. Пашенко, И. Ю. Кудинов, А. Ф. Пашенко. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2022. – 208 с. – ISBN 978-5-8114-9031-8 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

41. Никифоров, А. Ф. Лекции по уравнениям и методам математической физики / А. Ф. Никифоров. – Долгопрудный : Интеллект, 2009. – 133 с. – ISBN 978-5-91559-031-0.

42. Островский, Г. М. Оптимизация в химической технологии / Г. М. Островский, Ю. М. Волин, Н. Н. Зиятдинов. – Казань : Фэн, 2005. – 394 с. – ISBN 5-9690-0045-0.

43. Плохотников, К. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент : методология и практика / К. Э. Плохотников. – Москва : Эдиториал УРСС, 2003. – 280 с. – ISBN 5-354-00521-3.

44. Сабитов, К. Б. Уравнения математической физики : учебное пособие для вузов / К. Б. Сабитов. – Москва : Высшая школа, 2003. – 255 с. – ISBN 5-06-004676-1.

45. Самарский, А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – Москва : Физматлит, 2005. – 316 с. – ISBN 5-9221-0120-X.

46. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 1 / Г. А. Свиридюк, В. Е. Федоров ; Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1999. – 158 с. – ISBN 5-230-20012-X.

47. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях.

Часть 2 / Г. А. Свиридюк, Г. А. Кузнецов ; Министерство общего и профессионального образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 1999. – 177 с.

48. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 3 / Г. А. Свиридюк, А. В. Келлер ; Министерство образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 2000. – 158 с.

49. Свиридюк, Г. А. Математический анализ : учебное пособие. В 4 частях. Часть 4 / Г. А. Свиридюк, А. А. Замышляева ; Министерство образования Российской Федерации, Челябинский государственный университет. – Челябинск : Челяб. гос. ун-т, 2001. – 183 с.

50. Срочко, В. А. Численные методы. Курс лекций : учебное пособие для вузов / В. А. Срочко. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. – 202 с. – ISBN 978-5-8114-1014-9.

51. Строгалев, В. П. Имитационное моделирование : учебное пособие для вузов / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева. – 3-е изд. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 295 с. – ISBN 978-5-7038-4751-0.

52. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник для вузов / В. П. Тарасик. – Москва : ИНФРА-М ; Минск : Новое знание, 2016. – 591 с. – ISBN 978-5-16-011996-0.

53. Тенишев, Д. Ш. Лингвистическое и программное обеспечение автоматизированных систем : учебное пособие для вузов / Д. Ш. Тенишев ; под редакцией Т. Б. Чистяковой. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 403 с. – ISBN 978-5-91884-017-7.

54. Технология вычислений в системе компьютерной математики Mathcad : учебное пособие / В. А. Холоднов, В. П. Дьяконов, В. В. Фонарь [и др.] ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра системного анализа. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2014. – 154 с. // СПбГТИ(ТУ). Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

55. Флегонтов, А. В. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных / А. В. Флегонтов, В. Б. Вилков, А. К. Черных. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2020. – 332 с. – ISBN 978-5-8114-4402-1 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 27.01.2022). – Режим доступа: по подписке.

56. Чистякова, Т. Б. Интеллектуальное управление многоассортиментным коксохимическим производством / Т. Б. Чистякова, О. Г. Бойкова, Н. А. Чистяков. – Санкт-Петербург : ЦОП «Профессия», 2010. – 187 с. – ISBN 978-5-91884-013-9.

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Фундаментальная библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета (URL: <http://bibl.lti-gti.ru>).

Российская государственная библиотека (URL: <https://www.rsl.ru>).

Российская национальная библиотека (URL: <http://nlr.ru>).

Библиотека Академии Наук (URL: <http://www.rasl.ru>).

Государственная публичная научно-техническая библиотека России (URL: <https://www.gpntb.ru>).

Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) (URL: <http://www.viniti.ru>).

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (URL: <https://elibrary.ru>).

Электронно-библиотечные системы:

– «Электронный читальный зал – БиблиоТех» (URL: <http://bibl.lti-gti.ru/service1.html>);

– «Лань» (URL: <http://e.lanbook.com/books>).

Международные мультидисциплинарные аналитические реферативные базы данных научных публикаций:

– Web of Science (URL: <http://apps.webofknowledge.com>);

– Scopus (URL: <http://www.scopus.com>).

Информационно-поисковая система Интернет-портала Федерального института промышленной собственности (URL: <https://new.fips.ru/iiss>).

Образовательный математический сайт (URL: <https://exponenta.ru>).

Федеральный портал «Российское образование» (URL: <https://edu.ru>).

Российский портал открытого образования (URL: <https://openedu.ru>).

## **8. Методические указания для аспирантов по освоению дисциплины.**

Методические указания для аспирантов по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа по адресу: <http://media.technology.edu.ru>.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на два семестра, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса являются:

- плановость в организации учебной работы,
- серьезное отношение к изучению материала,
- постоянный самоконтроль.

В ходе обзорно-установочных лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации по выполнению самостоятельной работы.

В ходе лекций аспирантам рекомендуется:

– конспектировать учебный материал (конспектирование лекции – одна из форм активной самостоятельной работы аспирантов, требующая навыков и умений кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки; последующая работа над текстом лекции позволяет развивать аналитическое мышление);

– обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных компонентов математического моделирования, численных методов и комплексов программ, научные выводы и практические рекомендации по их применению;

– задавать преподавателю уточняющие вопросы по изучаемому материалу.

Самостоятельная работа – ключевой аспект освоения аспирантом дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», основывающийся на понимании материала, излагаемого в ходе обзорно-установочных лекций, самостоятельном поиске, подборе и обработке научно-технической информации. При этом значительную часть необходимых для освоения дисциплины данных необходимо искать в рекомендованных преподавателем литературных источниках и электронных ресурсах, в том числе информационных ресурсах сети «Интернет».

## **9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **9.1. Информационные технологии.**

В образовательном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование

следующих базовых информационных технологий:

- чтение обзорно-установочных лекций с использованием мультимедийных презентаций;
- проведение самостоятельной работы аспирантов с использованием системного и прикладного программного обеспечения, в том числе информационно-поисковых систем сети «Интернет»;
- взаимодействие с аспирантами посредством электронной информационно-образовательной среды СПбГТИ(ТУ).

## 9.2. Программное обеспечение.

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется следующее лицензионное и свободно распространяемое системное и прикладное программное обеспечение:

- операционная система Microsoft Windows 10;
- антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security;
- среды компьютерного и имитационного моделирования: универсальные математические пакеты Matlab/Simulink R2021b, Mathcad 14, среда имитационного моделирования MvStuduim Standard 4.0;
- табличный процессор Microsoft Office Excel или Apache OpenOffice Calc или LibreOffice Calc;
- текстовый процессор Microsoft Office Word или Apache OpenOffice Writer или LibreOffice Writer;
- графический редактор Microsoft Office Visio;
- презентационная программа Microsoft Office PowerPoint или Apache OpenOffice Impress или LibreOffice Impress;
- веб-браузер Mozilla Firefox или Google Chrome;
- информационно-поисковые системы сети «Интернет» Яндекс, Google.

## 9.3. Информационные справочные системы.

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (ИС «Единое окно»), обеспечивающая свободный доступ к интегральному каталогу образовательных Интернет-ресурсов и электронной библиотеке учебно-методических материалов, в том числе для высшего образования.

## 10. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для осуществления образовательного процесса по дисциплине на кафедре систем автоматизированного проектирования и управления СПбГТИ(ТУ) имеется необходимая материально-техническая база:

Наименование класса кафедры	Оборудование
Лекционная аудитория	80 посадочных мест. Учебная мебель. Мультимедийная интерактивная доска ScreenMedia. Мультимедийные проекторы NEC NP40 и Benq MS524. Ноутбуки Asus абj и Sony Vaio VPCSA. Демонстрационный экран.
Класс моделирования и оптимизации сложных технических систем	18 посадочных мест. Учебная мебель, пластиковая доска. Персональные компьютеры (9 шт.): моноблок Lenovo C360 с 19,5-дюймовым дисплеем; процессор Intel Core

Наименование класса кафедры	Оборудование
	i3-4130T (2,9 ГГц); ОЗУ 4 Гб; НЖМД 1000 Гб; встроенные DVD-RW привод, видеокарта Intel HD Graphics 4400, звуковая и сетевая карты. Персональные компьютеры объединены в локальную вычислительную сеть кафедры (сервер Supermicro на базе процессора Intel Xeon E5345), имеют выход в сеть «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду СПбГТИ(ТУ).
<p>Российско-германский инновационный центр «Программно-аппаратные комплексы для обработки информации и управления качеством полимерных материалов»</p>	<p>16 посадочных мест.  Учебная мебель, пластиковая доска.  Персональные компьютеры (7 шт.): процессор Intel Core i5-4460.  Прибор для измерения поверхностного сопротивления полимерных пленок Wolfgang SRM-110.  Программно-аппаратный комплекс для мониторинга и анализа качества полимерных пленок.  Программно-аппаратный комплекс кодирования и идентификации подлинности упаковочных полимерных пленок.  Программно-аппаратный комплекс для оценки стойкости полимерных пленок к царапинам.  Программно-аппаратный комплекс для оценки качества листовой резки полимерных пленок под печать.  Программно-аппаратный комплекс для измерения цветовых характеристик и расчета цветового различия полимерных пленок.  Микроскоп с цифровой видеокамерой LEVENHUK D2L NG, используемый в программно-аппаратном комплексе для обучения современным методам и средствам обработки фото- и видеоинформации о качестве промышленных изделий.</p>

Лицензионное системное и прикладное программное обеспечение, используемое в образовательном процессе по дисциплине, перечислено в подразделе № 9.2.

### **11. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебный процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.