

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 09.09.2021 22:54:04  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



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

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

\_\_\_\_\_ А.В. Гарабаджиу

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

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

Направление подготовки  
**09.06.01 Информатика и вычислительная техника**

Направленность программы аспирантуры  
**Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ**

Квалификация  
**Исследователь. Преподаватель-исследователь.**

Форма обучения  
**Очная**

Санкт-Петербург  
2016

**Б1.В.01**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, инициалы, фамилия
Разработчики		профессор Т.Б. Чистякова
		профессор В.А. Холоднов
		доцент А.Н. Полосин

Рабочая программа дисциплины «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» обсуждена на заседании кафедры систем автоматизированного проектирования и управления протокол от «26» апреля 2016 г. № 8

Заведующий кафедрой  
систем автоматизированного  
проектирования и управления

Т.Б. Чистякова

Одобрено учебно-методической комиссией факультета информационных технологий и управления протокол от «12» мая 2016 г. № 8

Председатель

В.В. Куркина

### СОГЛАСОВАНО

Руководитель направленности подготовки «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»		профессор Т.Б. Чистякова
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник отдела аспирантуры и докторантуры		доцент О.Н. Еронько

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	7
3. Объем дисциплины .....	8
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	8
4.2. Занятия лекционного типа .....	9
4.3. Занятия семинарского типа (семинары и/или практические занятия) .....	14
4.4. Самостоятельная работа .....	17
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	20
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	21
7. Перечень основной (обязательной), дополнительной и вспомогательной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	21
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	25
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	26
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии .....	28
10.2. Программное обеспечение .....	28
10.3. Информационные справочные системы .....	28
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	29
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	29
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.	
2. Задание на реферат.	

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

В результате освоения образовательной программы аспирантуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенций	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b>	Способность проводить комплексные исследования объектов проектирования и управления с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципы математического моделирования;</li> <li>– классификацию математических моделей;</li> <li>– требования, предъявляемые к математическим моделям;</li> <li>– этапы построения математических моделей;</li> <li>– структуру формализованного описания объекта предметной области как объекта исследования (проектирования, управления);</li> <li>– основные принципы математического описания химико-технологических процессов;</li> <li>– методы определения параметров математических моделей;</li> <li>– критерии и методы проверки адекватности математических моделей.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– составлять формализованное описание объектов предметной области как объектов исследования (проектирования, управления);</li> <li>– составлять физически обоснованное математическое описание объектов моделирования;</li> <li>– давать характеристику разрабатываемых математических моделей по критериям классификации моделей;</li> <li>– осуществлять параметрическую идентификацию математических моделей;</li> <li>– проверять адекватность математических моделей с применением соответствующих критериев и методов.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками применения</li> </ul>

Коды компетенций	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента для проведения комплексных исследований объектов проектирования и управления.
<b>ПК-2</b>	Способность к разработке и тестированию эффективных вычислительных методов и алгоритмов с применением современных компьютерных технологий	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– классификацию вычислительных методов;</li> <li>– требования, предъявляемые к вычислительным методам;</li> <li>– методы мягких вычислений, в том числе модели нечеткой логики и искусственные нейронные сети;</li> <li>– методы численного решения уравнений математических моделей различных классов;</li> <li>– принципы разработки эффективных вычислительных алгоритмов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– обосновывать выбор вычислительных методов для решения научных и технических задач по критериям сходимости, точности, экономичности и универсальности;</li> <li>– разрабатывать эффективные вычислительные алгоритмы на основе выбранных методов;</li> <li>– выполнять реализацию и тестирование вычислительных алгоритмов с применением современных компьютерных технологий.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками создания и проверки работоспособности вычислительных алгоритмов.</li> </ul>
<b>ПК-3</b>	Способность разрабатывать проблемно-ориентированные системы компьютерного и имитационного моделирования	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методы и технологии имитационного моделирования объектов и систем;</li> <li>– структуру типовой программной системы моделирования.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– разрабатывать структуру проблемно-ориентированной системы моделирования;</li> </ul>

Коды компетенций	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<ul style="list-style-type: none"> <li>– создавать алгоритм функционирования проблемно-ориентированной системы моделирования.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методикой тестирования программных систем моделирования.</li> </ul>
<b>ПК-4</b>	Способность разрабатывать и тестировать проблемно-ориентированные программные комплексы для решения научных и технических задач, оформлять документацию для получения свидетельств об их государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– этапы жизненного цикла программных комплексов;</li> <li>– постановку задачи разработки проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– функциональную структуру типового проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– структуры интерфейсов конечного пользователя (исследователя, проектировщика, оператора) и разработчика типового проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– требования, предъявляемые к современным инструментальным средствам разработки гибких проблемно-ориентированных программных комплексов;</li> <li>– методы тестирования проблемно-ориентированных программных комплексов.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ставить задачу разработки проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– разрабатывать функциональную структуру проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– разрабатывать структуру интерфейсов конечного пользователя и разработчика проблемно-ориентированного программного комплекса в виде UML-диаграмм вариантов использования;</li> <li>– обосновывать выбор</li> </ul>

Коды компетенций	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		инструментальных средств разработки проблемно-ориентированного программного комплекса; – обосновывать выбор метода тестирования и формировать исходные данные для тестирования проблемно-ориентированного программного комплекса. <b>Владеть:</b> – современными методами реализации всего жизненного цикла проблемно-ориентированного программного комплекса, включающего построение математической модели объекта, выбор численного метода, создание вычислительного алгоритма, разработку и тестирование программного комплекса.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к обязательным дисциплинам вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» (индекс дисциплины – Б1.В.01) и изучается на третьем курсе в пятом и шестом семестрах.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Разработка программных комплексов для проектирования и управления высокотехнологичными объектами» / «Методы и технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента в проблемно-ориентированных средах», «Методология научного исследования», «Защита интеллектуальной собственности» и в ходе научно-исследовательской деятельности аспиранта на первом и втором курсах.

Полученные в процессе изучения данной дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплины «Инновационные направления информатики, вычислительной техники и управления», прохождении практикума по разработке сложных проблемно-ориентированных программных комплексов, в научно-исследовательской деятельности аспиранта на четвертом курсе, при подготовке научно-квалификационной работы (диссертации) и научного доклада об основных результатах подготовленной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, акад. часы		
	Курс 3		Итого
	Семестр 5	Семестр 6	
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>2/72</b>	<b>3/108</b>	<b>5/180</b>

Вид учебной работы	Всего, акад. часы		
	Курс 3		Итого
	Семестр 5	Семестр 6	
(зачетных единиц/академических часов)			
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>44</b>	<b>34</b>	<b>78</b>
занятия лекционного типа	22	17	39
занятия семинарского типа (семинары и/или практические занятия)	22	17	39
КСР	—	—	—
другие виды контактной работы	—	—	—
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>28</b>	<b>38</b>	<b>66</b>
<b>Формы текущего контроля</b> (реферат, Кр, РГР, эссе)	реферат	дополнительная программа кандидатского экзамена	реферат, дополнительная программа кандидатского экзамена
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (зачет, зачет с оценкой, экзамен)	—	экзамен (кандидатский экзамен) <b>(36)</b>	экзамен (кандидатский экзамен) <b>(36)</b>

#### 4. Содержание дисциплины.

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы		Занятия семинарского типа (семинары и/или практические занятия), акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы		Формируемые компетенции
		Курс 3						
		Семестр 5	Семестр 6	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 5	Семестр 6	
1	Методы и программные средства математического моделирования. Технологии имитационного моделирования. Методы и алгоритмы мягких вычислений. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов.	14	—	8	5	24	31	ПК-1, ПК-2, ПК-3
2	Численные методы анализа математических моделей и принципы их программной реализации.	8	—	8	—	3	3	ПК-2

3	Методы и алгоритмы разработки проблемно-ориентированных программных комплексов для моделирования и исследования технических объектов и систем.	—	17	6	12	1	4	ПК-2, ПК-3, ПК-4
<b>Итого</b>		<b>22</b>	<b>17</b>	<b>22</b>	<b>17</b>	<b>28</b>	<b>38</b>	

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
Семестр 5			
1	<p><u>Теоретические основы и методы математического моделирования</u></p> <p>Основные понятия теории математического моделирования. Принципы моделирования. Классификация математических моделей. Требования, предъявляемые к математическим моделям.</p> <p>Этапы математического моделирования. Формализованное описание объекта предметной области как объекта исследования (проектирования, управления). Методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Вариационные принципы построения моделей.</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>	2	—
1	<p><u>Технологии имитационного моделирования. Программные системы 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,</p>	4	—

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>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>		
1	<p><u>Методы и алгоритмы мягких вычислений</u></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. 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>	4	—

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	Сравнительные характеристики моделей на базе нечеткой логики и на основе искусственных нейронных сетей. Гибридные нейро-фаззи-модели.		
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>Реологические модели ньютоновских и аномально-вязких сред.</p> <p>Идеальные математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии.</p> <p>Моделирование кинетики химических реакций. Решение обратной задачи химической кинетики.</p> <p>Методы и алгоритмы планирования и обработки результатов экспериментов в химии и химической технологии. Использование современных компьютерных технологий для построения эмпирических моделей химико-технологических объектов.</p> <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>Характеристика информационно-моделирующих программных комплексов. Особенности использования информационно-моделирующих программных комплексов для расчета статических и динамических режимов химико-технологических систем.</p>	4	—
2	<p><u>Теория приближения таблично заданных функций</u></p> <p>Постановка задачи приближения функций.</p> <p>Соотношение между интерполяцией и</p>	2	—

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>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. Численные методы поиска экстремума функций.</p>		
2	<p><u>Численное решение систем алгебраических уравнений</u></p> <p>Системы линейных алгебраических уравнений и их разрешимость в зависимости от структуры матрицы системы. 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</p>	4	—

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>Робина. Априорные показатели качества разностных схем: согласованность, 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>		
Семестр 6			
3	<p><u>Жизненный цикл и структура проблемно-ориентированного программного комплекса. Методы организации данных</u></p> <p>Этапы жизненного цикла программного комплекса.</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>	3	—
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>	4	—
3	<p><u>Алгоритмические языки и технологии программирования</u></p> <p>Назначение и структура языков</p>	2	—

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	программирования высокого уровня, основные операторы. Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование.		
3	<u>Проектирование 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 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.	4	—
3	<u>Регистрация программных комплексов</u> Методика подготовки документов для подачи заявок на государственную регистрацию проблемно-ориентированных программных комплексов.	2	—
<b>Итого</b>		<b>39</b>	

#### 4.3. Занятия семинарского типа (семинары и/или практические занятия).

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
<b>Семестр 5</b>			
1	<u>Формализованное описание объекта диссертационного исследования</u> Построение формализованного описания объекта диссертационного исследования как объекта исследования (проектирования, управления).	2	Разбор конкретных ситуаций
1	<u>Структура и характеристика математической модели объекта диссертационного исследования</u> Обоснование и формирование структуры математической модели объекта диссертационного исследования. Характеристика модели по критериям классификации моделей.	4	Разбор конкретных ситуаций

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Характеристика требований, предъявляемых к математической модели объекта диссертационного исследования</u> Оценка математической модели объекта диссертационного исследования по критериям универсальности, точности, адекватности, экономичности.	2	Разбор конкретных ситуаций
2	<u>Выбор численных методов решения уравнений математической модели объекта диссертационного исследования</u> Обоснование выбора численных методов решения уравнений математической модели объекта диссертационного исследования (с учетом типов уравнений модели и по критериям сходимости, точности, экономичности).	4	Разбор конкретных ситуаций
2	<u>Алгоритм расчета выходных параметров объекта диссертационного исследования по математической модели</u> Разработка блок-схемы алгоритма расчета выходных параметров (параметров состояния, критериальных показателей) объекта диссертационного исследования по его математической модели, обеспечивающего выполнение требований устойчивости и точности решений.	4	Разбор конкретных ситуаций
3	<u>Характеристика проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса для объекта диссертационного исследования</u> Описание характеристик качества (функциональные возможности, надежность, эффективность и др.) проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса. Обоснование выбора методов тестирования программного комплекса и подготовка исходных данных для тестирования.	6	Разбор конкретных ситуаций
Семестр 6			
1	<u>Структура библиотеки перенастраиваемых математических моделей объекта диссертационного исследования</u> Разработка структуры библиотеки математических моделей, настраиваемых на модификации структуры и/или режимов функционирования объекта диссертационного исследования.	5	Разбор конкретных ситуаций
3	<u>Функциональная структура и средства разработки проблемно-ориентированного</u>	4	Разбор конкретных

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<u>моделирующего программного комплекса для объекта диссертационного исследования</u> Разработка функциональной структуры проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса. Разработка (и представление в виде UML-диаграмм вариантов использования) структуры интерфейсов пользователей проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса различных категорий (конечный пользователь: исследователь, проектировщик, оператор, обучаемый или др.; разработчик, администратор, инструктор или др.). Обоснование выбора инструментальных средств разработки и интеграции компонентов проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса.		ситуаций
3	<u>Алгоритм функционирования проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса для объекта диссертационного исследования</u> Разработка блок-схемы алгоритма функционирования проблемно-ориентированного моделирующего программного комплекса с отображением компонентов информационного обеспечения комплекса (баз данных, баз знаний), с которыми осуществляется взаимодействие в процессе моделирования.	6	Разбор конкретных ситуаций
3	<u>Дополнительная программа кандидатского экзамена</u> Структура и состав дополнительной программы кандидатского экзамена.	2	
<b>Итого</b>		<b>39</b>	

#### 4.4. Самостоятельная работа.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
Семестр 5			
1	Методология математического моделирования. Концептуальная модель. Выбор структуры математической модели. Элементарные математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике.	1	Реферат, экзамен
1	Модели состояния динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Хаотические модели. Эргодичность и	2	Экзамен

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	перемешивание. Понятие о самоорганизации. Диссипативные структуры. Режимы с обострением. Принципы выбора модели.		
1	Объектно-классификационное моделирование. Содержание понятия «объект», моделирование атрибутов объектов, классификация и пространство идентификаторов объектов. Состояние, пространство состояний объекта.	2	Экзамен
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.	2	Экзамен
1	Моделирование параллельных процессов. Виды параллельных процессов в сложных системах, методы их описания, применение сетевых моделей для описания параллельных процессов.	2	Экзамен
1	Использование детерминированных и формальных моделей химико-технологических процессов. Дескриптивные и оптимизационные модели, их назначение. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами. Две основные части математической модели. Уравнение Умова как основа построения детерминированных математических моделей.	2	Реферат, экзамен
1	Линейные градиентные законы переноса. Диффузионный перенос массы, импульса, энергии. Дифференциальные математические модели переноса массы, импульса, энергии.	1	Реферат, экзамен
1	Построение математических моделей в случае нелинейных градиентных законов переноса. Нелинейные эффекты при массо-, энергопереносе и переносе импульса.	1	Реферат, экзамен
1	Краевые условия к детерминированным математическим моделям. Граничные условия первого, второго, третьего и четвертого рода.	0,5	Реферат, экзамен
1	Решение детерминированных математических моделей. Приведение к задаче с однородными граничными условиями.	0,5	Экзамен
1	Модели зависимости вязкости от температуры, давления, молекулярной массы. Модели для расчета вязкости смесей.	0,5	Реферат, экзамен

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Математические модели смесителей, делителей потоков без химического превращения, теплообменников, процессов и аппаратов гетерогенного разделения, химических реакторов, насосов, трубопроводов, компрессоров.	1,5	Реферат, экзамен
1	Расчет динамических режимов химико-технологических систем (ХТС). Общая характеристика динамических режимов. Нестационарные модели элементов ХТС.	2	Экзамен
1	Подготовка сравнительного обзора математических моделей для исследования (проектирования, управления, обучения проектированию, обучения управлению) объектом диссертационного исследования и аналогичными объектами.	5	Реферат
2	Методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений. Алгоритмы решения «жестких» дифференциальных задач.	2	Реферат, экзамен
1–3	Оформление реферата.	3	Реферат
Семестр 6			
1	Аксиоматика теории вероятностей. Вероятность, условная вероятность. Независимость.	1	Экзамен
1	Случайные величины и векторы. 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.	2	Экзамен
1	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.	2	Экзамен
1	Моделирующие программные комплексы как средство анализа и синтеза динамических систем. Виды технических средств моделирования. Уровни и структуры программных средств моделирования.	2	Экзамен
1	Общая проблема решения. Роль математического моделирования в процессе принятия решений. Общая схема процесса принятия решений. Функция потерь.	4	Экзамен

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	Байесовский и минимаксный подходы. Классификация задач принятия решений. Метод последовательного принятия решения.		
1	Исследование операций и задачи искусственного интеллекта: экспертизы и неформальные процедуры, автоматизация проектирования, искусственный интеллект, распознавание образов.	4	Экзамен
1	Элементы теории функций и функционального анализа: понятие меры и интеграла Лебега, пространства, линейные непрерывные функционалы, теорема Хана–Банаха, операторы, элементы спектральной теории.	2	Экзамен
1	Конечные интегральные преобразования. Схема и условия применения. Основные формулы. Алгоритм применения.	2	Экзамен
1	Представление результатов моделирования химико-технологических процессов и ХТС. Специальные методы анализа химико-технологических процессов и ХТС.	2	Экзамен
1	Компьютерное исследование ХТС с учетом надежности. Понятие о надежности ХТС. Вероятностные и эксплуатационные количественные характеристики надежности. Вычисление надежности ХТС для различных структур. Резервирование для повышения надежности.	2	Экзамен
1	Экстремальные задачи в евклидовых пространствах. Выпуклые задачи на минимум. Математическое программирование, линейное программирование, выпуклое программирование. Задачи на минимакс. Основы вариационного исчисления.	2	Экзамен
1	Задачи оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина. Принцип динамического программирования Беллмана.	2	Экзамен
1	Использование информационно-моделирующих программных комплексов для синтеза ХТС.	2	Экзамен
1	Особенности решения задач оптимизации ХТС с помощью информационно-моделирующих программных комплексов.	2	Экзамен
2	Особенности применения метода конечных элементов для различных типов объектов с распределенными параметрами.	2	Экзамен
2	Преобразования Фурье, Лапласа, Хаара. Численные методы вейвлет-анализа.	1	Экзамен
3	Технология разработки компьютерных	2	Экзамен

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	моделей 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.		
1–3	Формирование материалов для подготовки дополнительной программы кандидатского экзамена.	2	Экзамен
<b>Итого</b>		<b>66</b>	

#### **4.4.1. Тематика и структура рефератов.**

Каждый аспирант подготавливает реферат, посвященный описанию математических моделей, численных методов и программного комплекса для исследования (проектирования, управления, обучения проектированию, обучения управлению) объектом диссертационного исследования аспиранта. Шаблон задания на реферат представлен в Приложении № 2.

Структурными элементами реферата являются:

титульный лист;

задание;

содержание;

обозначения и сокращения;

введение (содержит обоснование актуальности темы, формулировку цели и задач реферата);

основная часть (делится на разделы и подразделы в соответствии с перечнем вопросов, подлежащих разработке, в задании на реферат);

заклучение (содержит краткие выводы по результатам выполненной работы);

список использованных источников (содержит сведения о литературных источниках и электронных ресурсах, использованных при подготовке реферата, в том числе сведения обо всех источниках, указанных в исходных данных задания на реферат).

#### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень вопросов для самостоятельного изучения, формы текущего контроля самостоятельной работы по дисциплине и требования к их выполнению, размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа по адресу: <http://media.technolog.edu.ru>.

#### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном

этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме кандидатского экзамена по направленности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»).

К сдаче экзамена допускаются аспиранты, выполнившие все формы текущего контроля.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется пятью вопросами: тремя вопросами первой части (из программы-минимума кандидатского экзамена); двумя вопросами второй части (из дополнительной программы кандидатского экзамена, соответствующей теме научно-квалификационной работы (диссертации) аспиранта).

Время подготовки аспиранта к ответу на экзамене – до 90 мин.

Пример варианта вопросов первой части экзамена:

#### Вариант № 1

1. Основные понятия теории математического моделирования. Принципы моделирования. Классификация математических моделей. Требования, предъявляемые к математическим моделям.
2. Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Сравнение методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Алгоритмы автоматического поиска устойчивого шага интегрирования.
3. Проверка правильности программ. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Формальные методы доказательства правильности программ. Средства защиты программных комплексов.

Фонд оценочных средств по дисциплине, состоящий из вопросов первой части кандидатского экзамена, представлен в Приложении № 1.

### **7. Перечень основной (обязательной), дополнительной и вспомогательной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

#### **А) Основная (обязательная) литература:**

1 Автоматизированные системы обработки информации и управления качеством нанопродукции : учеб. пособие / Т. Б. Чистякова [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. – СПб. : [б. и.], 2013. – 87 с. (ЭБ)

2 Гумеров, А. М. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учеб. пособие / А. М. Гумеров. – 2-е изд., перераб. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. – 176 с. (ЭБС)

3 Компьютерные технологии моделирования процессов получения высокотемпературных наноструктурированных материалов : учеб. пособие / Т. Б. Чистякова [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. – СПб. : [б. и.], 2013. – 223 с. (ЭБ)

4 Лафоре, Р. Объектно-ориентированное программирование в C++ / Р. Лафоре ; пер. с англ. – 4-е изд. – М. ; СПб. ; Н. Новгород : Питер, 2015. – 928 с.

5 Марков, Ю.Г. Математические модели химических реакций : учебник / Ю. Г. Марков, И. В. Маркова. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. – 192 с. (ЭБС)

6 Моделирование в компьютерной среде Aspen Hysys : учеб. пособие / В. И. Федоров [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. ресурсосберегающих технологий. – СПб. : [б. и.], 2013. – 75 с. (ЭБ)

7 Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов и систем с

помощью интерактивной информационно-моделирующей программы ASPEN PLUS : учеб. пособие / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем. анализа. – СПб. : [б. и.], 2013. – 214 с. (ЭБ)

8 Расчеты химико-технологических процессов : учеб. пособие для вузов / А. Ф. Туболкин [и др.] ; под ред. И. П. Мухленова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, 2015. – 248 с.

9 Самойлов, Н. А. Примеры и задачи по курсу «Математическое моделирование химико-технологических процессов» : учеб. пособие / Н. А. Самойлов. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. – 176 с. (ЭБС)

10 Технология вычислений в системе компьютерной математики Mathcad : учеб. пособие / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем. анализа. – СПб. : [б. и.], 2014. – 154 с. (ЭБ)

11 Химико-технологические системы: оптимизация и ресурсосбережение : учеб. пособие / Н. В. Лисицын [и др.]. – СПб. : Менделеев, 2013. – 392 с.

#### **Б) Дополнительная литература:**

12 Высоцкий, Л. И. Математическое и физическое моделирование потенциальных течений жидкости : учеб. пособие / Л. И. Высоцкий, Г. Р. Коперник, И. С. Высоцкий. – 2-е изд., испр. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. – 59 с.

13 Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учеб. пособие / Н. В. Голубева. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. – 192 с.

14 Гольцева, Л. В. Математическое моделирование химико-технологических процессов : учеб. пособие / Л. В. Гольцева, А. В. Козлов, А. Н. Полосин ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. – СПб. : [б. и.], 2012. – 85 с. (ЭБ)

15 Колбин, В. В. Специальные методы оптимизации : учеб. пособие / В. В. Колбин. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. – 384 с.

16 Mathcad и Scilab для точечного и интервального оценивания параметров парной линейной регрессии : учеб. пособие / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем. анализа. – СПб. : [б. и.], 2016. – 108 с. (ЭБ)

17 Парфилова, Н. И. Программирование. Основы алгоритмизации и программирования : учеб. для вузов / Н. И. Парфилова, А. Н. Пылькин, Б. Г. Трусов ; под ред. Б. Г. Трусова. – М. : Академия, 2012. – 232 с.

18 Советов, Б. Я. Интеллектуальные системы и технологии : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, В. В. Цехановский, В. Д. Чертовской. – М. : Академия, 2013. – 318 с.

19 Советов, Б. Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – М. : Юрайт, 2013. – 343 с.

20 Советов, Б. Я. Моделирование систем. Практикум : учеб. пособие для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2012. – 295 с.

21 Химические реакторы и печи : учеб. пособие / В. Н. Соколов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. оптимизации хим. и биотехнол. аппаратуры. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : [б. и.], 2014. – 94 с. (ЭБ)

22 Автоматизация в промышленности : ежемес. науч.-техн. и произв. журн. – М. : ИнфоАвтоматизация, 2012– .

23 Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – СПб. : СПбГТИ(ТУ), 2012– .

24 Информационные технологии : ежемес. теорет. и прикл. науч.-техн. журн. – М. : Новые технологии, 2012– .

25 Программные продукты и системы : ежекварт. прил. к междунар. журн. «Проблемы теории и практики управления». – Тверь : МНИИПУ : НИИ «Центрпрограммсистем», 2012– .

26 Химическая промышленность сегодня : ежемес. науч.-техн. журн. – М. : ООО Химпром сегодня, 2012– .

## **В) Вспомогательная литература:**

- 27 Барботько, А. И. Основы теории математического моделирования : учеб. пособие для вузов / А. И. Барботько, А. О. Гладышкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Старый Оскол : ТНТ, 2009. – 209 с.
- 28 Васильев, Ф. П. Методы оптимизации : учеб. для вузов. В 2 кн. Ч. 1. Конечномерные задачи оптимизации. Принцип максимума. Динамическое программирование / Ф. П. Васильев. – Изд. новое, перераб. и доп. – М. : МЦНМО, 2011. – 619 с.
- 29 Васильев, Ф. П. Методы оптимизации : учеб. для вузов. В 2 кн. Ч. 2. Оптимизация в функциональных пространствах. Регуляризация. Аппроксимация / Ф. П. Васильев. – Изд. новое, перераб. и доп. – М. : МЦНМО, 2011. – 437 с.
- 30 Воскобойников, Ю. Е. Регрессионный анализ данных в пакете Mathcad : учеб. пособие / Ю. Е. Воскобойников. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. – 224 с.
- 31 Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL : учеб. пособие для вузов / Э. А. Вуколов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Форум, 2010. – 463 с.
- 32 Гиляров, В. Н. Нечеткие интеллектуальные химико-технологические системы : метод. указания / В. Н. Гиляров ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. – СПб. : [б. и.], 2005. – 46 с.
- 33 Грешилов, А. А. Компьютерные обучающие пособия для решения задач математической статистики и математического программирования : учеб. пособие / А. А. Грешилов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. – 191 с.
- 34 Грешилов, А. А. Математические методы принятия решений : учеб. пособие / А. А. Грешилов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 583 с.
- 35 Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : учеб. для вузов / В. С. Зарубин. – 3-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с.
- 36 Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учеб. пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 376 с.
- 37 Иванова, Г. С. Объектно-ориентированное программирование : учебник / Г. С. Иванова, Т. Н. Ничушкина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 455 с.
- 38 Интеллектуальные системы технологического проектирования, управления и обучения в многоассортиментном производстве гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц / Т. Б. Чистякова [и др.]. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2012. – 324 с.
- 39 Карпенко, А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учеб. пособие / А. П. Карпенко. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 446 с.
- 40 Катулев, А. Н. Математические методы в системах поддержки принятия решений : учеб. пособие / А. Н. Катулев, Н. А. Северцев. – М. : Высш. шк., 2005. – 310 с.
- 41 Киреев, В. И. Численные методы в примерах и задачах : учеб. пособие для вузов / В. И. Киреев, А. В. Пантелеев. – 3-е изд., стер. – М. : Высш. шк., 2008. – 480 с.
- 42 Комаров, П. И. Математические методы в САПР. Аналитические методы решения краевых задач математической физики : учеб. пособие / П. И. Комаров ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. – СПб. : [б. и.], 2009. – 99 с.
- 43 Компьютерные технологии построения математических моделей химико-технологических процессов на основе полного факторного эксперимента : учеб. пособие / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. мат. моделирования и оптимизации хим.-технол. процессов. – СПб. : [б. и.], 2010. – 53 с.
- 44 Лесин, В. В. Основы методов оптимизации : учеб. пособие / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. – 3-е изд., испр. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. – 341 с.

- 45 Липаев, В. В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств : методы и стандарты / В. В. Липаев. – М. : Синтег, 2001. – 296 с.
- 46 Липаев, В. В. Тестирование компонентов и комплексов программ : учебник / В. В. Липаев. – М. : СИНТЕГ, 2010. – 400 с.
- 47 Лисицын, Н. В. Основы моделирования в среде визуального программирования MVS : метод. указания / Н. В. Лисицын, В. Л. Рукин ; СПбГТИ(ТУ). Каф. ресурсосберегающих технологий. – СПб. : [б. и.], 2005. – 34 с.
- 48 Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики : учеб. пособие для вузов / Г. И. Марчук. – 4-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2009. – 608 с.
- 49 Морозов, В. К. Моделирование информационных и динамических систем : учеб. пособие для вузов / В. К. Морозов, Г. Н. Рогачев. – М. : Академия, 2011. – 377 с.
- 50 Незнанов, А. А. Программирование и алгоритмизация : учеб. для вузов / А. А. Незнанов. – М. : Академия, 2010. – 304 с. (ЭБ)
- 51 Никифоров, А. Ф. Лекции по уравнениям и методам математической физики / А. Ф. Никифоров. – Долгопрудный : Интеллект, 2009. – 133 с.
- 52 Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учеб. пособие для вузов / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с.
- 53 Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский ; пер. с польск. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
- 54 Островский, Г. М. Оптимизация в химической технологии / Г. М. Островский, Ю. М. Волин, Н. Н. Зиятдинов. – Казань : Фэн, 2005. – 394 с.
- 55 Пахомов, Б. И. C/C++ и MS Visual C++ 2010 для начинающих / Б. И. Пахомов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 722 с.
- 56 Плохотников, К. Э. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент. Методология и практика / К. Э. Плохотников. – М. : Эдиториал УРСС, 2003. – 280 с.
- 57 Решение задач безусловной оптимизации с использованием системы компьютерной математики MathCAD : метод. указания / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. мат. моделирования и оптимизации хим.-технол. процессов. – СПб. : [б. и.], 2010. – 47 с.
- 58 Решение задач нелинейного программирования на основе градиентных методов с использованием системы компьютерной математики MathCAD : метод. указания / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. мат. моделирования и оптимизации хим.-технол. процессов. – СПб. : [б. и.], 2010. – 69 с.
- 59 Решение задач нелинейного программирования на основе условий Куна–Таккера с использованием системы компьютерной математики MathCAD : метод. указания / В. А. Холоднов [и др.] ; СПбГТИ(ТУ). Каф. мат. моделирования и оптимизации хим.-технол. процессов. – СПб. : [б. и.], 2010. – 47 с.
- 60 Сабитов, К. Б. Уравнения математической физики : учеб. пособие для вузов / К. Б. Сабитов. – М. : Высш. шк., 2003. – 255 с.
- 61 Самарский, А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – М. : Наука, 2002. – 320 с.
- 62 Сизиков, В. С. Обратные прикладные задачи и MatLab : учеб. пособие для вузов / В. С. Сизиков. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2011. – 249 с.
- 63 Срочко, В. А. Численные методы. Курс лекций : учеб. пособие для вузов / В. А. Срочко. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2010. – 202 с.
- 64 Строгалев, В. П. Имитационное моделирование : учеб. пособие / В. П. Строгалев, И. О. Толкачева. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 295 с.
- 65 Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – 2-е изд., испр. и доп. – Мн. : ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
- 66 Тенишев, Д. Ш. Лингвистическое и программное обеспечение

автоматизированных систем : учеб. пособие для вузов / Д. Ш. Тенишев ; под ред. Т. Б. Чистяковой. – СПб. : Центр образовательных программ «Профессия», 2010. – 403 с.

67 Чистякова, Т. Б. Интеллектуальное управление многоассортиментным коксохимическим производством / Т. Б. Чистякова, О. Г. Бойкова, Н. А. Чистяков. – СПб. : Центр образовательных программ «Профессия», 2010. – 187 с.

68 Чистякова, Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами : учеб. пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева. – СПб. : Центр образовательных программ «Профессия», 2010. – 239 с.

69 Чистякова, Т. Б. Применение универсальных моделирующих программ для синтеза и анализа технологических процессов : учеб. пособие / Т. Б. Чистякова, Л. В. Гольцева, А. В. Козлов ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. – СПб. : [б. и.], 2011. – 66 с.

70 Чистякова, Т. Б. Программирование на языке высокого уровня на примере объектов химической технологии : учеб. пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, И. В. Новожилова, Р. В. Антипин. – СПб. : Изд-во СПбГТИ(ТУ), 2012. – 232 с.

71 Ярушкина, Н. Г. Основы теории нечетких и гибридных систем : учеб. пособие / Н. Г. Ярушкина. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 320 с.

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

Учебный план по программе аспирантуры «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» в рамках направления подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» и рабочая программа дисциплины размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа по адресу: <http://media.technolog.edu.ru>.

Кроме того, для подготовки к практическим занятиям, выполнения самостоятельной работы и подготовки к экзамену аспиранты могут использовать следующие Интернет-ресурсы:

[www.exponenta.ru](http://www.exponenta.ru) (образовательный математический сайт);

[model.exponenta.ru](http://model.exponenta.ru) (сайт о моделировании и исследовании: систем, объектов, технических процессов и физических явлений);

[www.processflow.ru](http://www.processflow.ru), [www.ansys.com](http://www.ansys.com), [www.polydynamics.com](http://www.polydynamics.com) (сайты, посвященные программным комплексам вычислительной гидродинамики POLYFLOW, FLUENT, FlowLab и др.);

[inftech.webservis.ru](http://inftech.webservis.ru), [citforum.ru](http://citforum.ru) (сайты информационных технологий);

[www.edu.ru](http://www.edu.ru) (федеральный портал «Российское образование»);

[www.openet.ru](http://www.openet.ru) (российский портал открытого образования);

[elibrary.ru](http://elibrary.ru) (информационно-аналитический портал «Научная электронная библиотека»);

[webofknowledge.com](http://webofknowledge.com), [scopus.com](http://scopus.com) (международные мультидисциплинарные аналитические реферативные базы данных научных публикаций), а также электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» (режим доступа: <http://bibl.lti-gti.ru/service1.html>, вход по логину и паролю);

«Лань (Профессия)» (режим доступа: <http://e.lanbook.com/books>, свободный вход с любого зарегистрированного компьютера института).

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды учебных занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП, действующих в СПбГТИ(ТУ):

СТП СПбГТИ 040-02 КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ(ТУ) 018-2014 КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению;

СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015 КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение дисциплины, лучше всего осуществлять на каждый семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Успешное изучение дисциплины требует от аспирантов посещения лекций, активной работы на практических занятиях, выполнения всех заданий преподавателя, изучения рекомендованной основной, дополнительной, вспомогательной литературы и электронных ресурсов.

Дисциплина хотя и предполагает сбалансированный отбор важнейших составляющих методологии математического моделирования, численных методов и комплексов программ, однако носит неизбежно обзорный характер.

Лекции в основном нацелены на освещение наиболее трудных и дискуссионных вопросов, а также призваны способствовать формированию навыков работы с научной литературой и электронными ресурсами. Предполагается также, что аспиранты приходят на лекции, предварительно проработав соответствующий учебный материал по источникам, рекомендованным программой (разделы № 7, № 8, подраздел № 10.3). Запись лекции – одна из форм активной самостоятельной работы аспирантов, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. Последующая работа над текстом лекции позволяет развивать аналитическое мышление. В конце лекции преподаватель оставляет время (5–10 минут) для того, чтобы аспиранты имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу.

Работа с конспектом лекций предполагает просмотр конспекта в тот же день после занятий, пометку материала конспекта, который вызывает затруднения для понимания. Необходимо попытаться найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендованную литературу и электронные ресурсы. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, необходимо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю на ближайшей лекции. Аспирант должен регулярно отводить время для повторения пройденного материала.

Основным методом обучения является самостоятельная работа аспирантов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и электронными ресурсами, в том числе информационными ресурсами сети «Интернет», по всем разделам дисциплины. Самостоятельная работа аспирантов предусмотрена в объеме 66 академических часов, в том числе 28 академических часов в семестре 5 и 38 академических часов в семестре 6. Вопросы и задания для самостоятельной работы приведены в подразделе № 4.4.

Для расширения и углубления знаний по дисциплине необходимо активно использовать:

материалы сайтов, рекомендованных преподавателями на лекциях и практических занятиях (раздел № 8 и подраздел № 10.3);

информационно-поисковые системы сети «Интернет»; при этом следует выполнить запрос, включающий ключевые слова раздела дисциплины, в различных поисковых системах, таких как Яндекс (режим доступа: <http://www.yandex.ru>), Google (режим доступа: <http://www.google.ru>), в метапоисковой системе иксРамблер (режим доступа: <http://xrambler.ru>), среди найденных ссылок, в первую очередь, изучать сайты и веб-страницы со строгим соответствием запросу или высокой релевантностью.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для аспирантов

является:

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

На занятия аспирант должен приходиться, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

Текущий контроль работы каждого аспиранта осуществляется путем проверки результатов выполнения заданий практических работ и задания самостоятельной работы (по подготовке сравнительного обзора математических моделей объекта научного исследования аспиранта и аналогичных объектов), являющихся этапами подготовки реферата, а также проверки реферата в целом и собеседования по нему с аспирантом.

Темы и содержание заданий практических работ приведены в подразделе № 4.3.

Реферат каждый аспирант подготавливает с использованием компьютера и соответствующего программного обеспечения. При оформлении реферата необходимо руководствоваться требованиями соответствующих государственных стандартов и СТП:

ГОСТ 7.32-2001 СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;

СТП СПбГТИ 006-2009 КС УКДВ. Подготовка и оформление авторских текстовых оригиналов для издания;

ГОСТ 8.417-2002 ГСИ. Единицы величин;

СТП ЛТИ им. Ленсовета 2.055.005-79 КС УКДВ. Единицы физических величин;

ГОСТ 19.701-90 ЕСПД. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения;

ГОСТ 7.1-2003 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления;

ГОСТ Р 7.0.12-2011 СИБИД. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на русском языке. Общие требования и правила;

ГОСТ 7.11-2004 СИБИД. Библиографическая запись. Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках;

ГОСТ 7.82-2001 СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления;

Р 01-2007 КС УКДВ. Библиографическое описание документа. Примеры оформления.

Собеседование по реферату позволяет оценить знания, умения, навыки аспиранта в области математических моделей, численных методов и программного комплекса для исследования (проектирования, управления, обучения проектированию, обучения управлению) объектом диссертационного исследования и сформировать оценку за реферат.

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется в виде кандидатского экзамена, проводимого в семестре 6 в форме индивидуального устного опроса с предварительной подготовкой письменных развернутых ответов на экзаменационные вопросы.

Необходимым условием получения допуска к экзамену является выполнение и сдача аспирантом реферата (в семестре 5) и отчета о научно-практической работе (в семестре 6), предусмотренных настоящей рабочей программой.

При подготовке к экзамену рекомендуется несколько раз прочитать весь конспект лекций, дополненный информацией из рекомендованных источников (разделы № 7, № 8, подраздел № 10.3). При этом аспирант, поняв логику изложения материала, получает представление о предмете изучаемой дисциплины в целом, что позволяет ему продемонстрировать на экзамене определенный (для данного этапа обучения) уровень сформированности профессиональных компетенций. Собеседование на экзамене позволяет оценить знания аспиранта в области математического моделирования,

численных методов и комплексов программ, а также умения выбирать и применять методы математического моделирования, численные методы и технологии разработки программных комплексов для решения задач научного исследования (с учетом особенностей объекта диссертационного исследования). Оценка, формируемая в результате собеседования (по балльной шкале), является итоговой по дисциплине.

Постоянная активность на занятиях, готовность ставить и обсуждать актуальные проблемы дисциплины – залог успешной работы и положительной оценки.

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

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование следующих базовых информационных технологий:

чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций;

проведение практических занятий и самостоятельной работы аспирантов с использованием системного и прикладного программного обеспечения, в том числе информационно-поисковых систем сети «Интернет», средств ввода, редактирования и форматирования документов;

взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

При проведении практических занятий используется следующее лицензионное системное и прикладное программное обеспечение:

операционная система Microsoft Windows 7/8.1/10;

графический редактор (включающий инструменты редактирования блок-схем алгоритмов и UML-диаграмм) OpenOffice.org Draw или LibreOffice Draw;

редактор текстов документов OpenOffice.org Writer или LibreOffice Writer.

### **10.3. 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 для общего и профессионального образования.

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

Для проведения занятий по дисциплине на кафедре систем автоматизированного проектирования и управления СПбГТИ(ТУ) имеется необходимая материально-техническая база, соответствующая действующим противопожарным правилам и нормам:

Наименование компьютерного класса кафедры	Оборудование
Класс моделирования и оптимизации сложных технических систем для проведения практических занятий	18 посадочных мест. Учебная мебель, пластиковая доска. Персональные компьютеры (9 шт.): моноблок Lenovo C360 с 19,5-дюймовым дисплеем; процессор Intel Core 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, имеют выход в сеть «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную

Наименование компьютерного класса кафедры	Оборудование
	информационно-образовательную среду СПБГТИ(ТУ).
Лекционная аудитория	56 посадочных мест. Учебная мебель. Мультимедийный проектор NEC NP41. Ноутбук Asus abj на базе процессора Intel Core Duo T2000. Мультимедийная интерактивная доска ScreenMedia.

Лицензионное системное и прикладное программное обеспечение, используемое в учебном процессе по дисциплине, перечислено в подразделе № 10.2.

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

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные 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 г.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по  
дисциплине «Математическое моделирование, численные методы и комплексы  
программ»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Компетенции		
Индекс	Формулировка	Этап формирования
ПК-1	Способность проводить комплексные исследования объектов проектирования и управления с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента	промежуточный
ПК-2	Способность к разработке и тестированию эффективных вычислительных методов и алгоритмов с применением современных компьютерных технологий	начальный
ПК-3	Способность разрабатывать проблемно-ориентированные системы компьютерного и имитационного моделирования	промежуточный
ПК-4	Способность разрабатывать и тестировать проблемно-ориентированные программные комплексы для решения научных и технических задач, оформлять документацию для получения свидетельств об их государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ	промежуточный

**2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.**

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 1	Знает: – принципы математического моделирования; – классификацию математических моделей; – требования, предъявляемые к математическим моделям; – этапы построения математических моделей; – структуру формализованного описания	Правильные ответы на вопросы № 1–17 к экзамену	ПК-1

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	<p>объекта предметной области как объекта исследования (проектирования, управления);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные принципы математического описания химико-технологических процессов;</li> <li>– методы определения параметров математических моделей;</li> <li>– критерии и методы проверки адекватности математических моделей.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– составлять формализованное описание объектов предметной области как объектов исследования (проектирования, управления);</li> <li>– составлять физически обоснованное математическое описание объектов моделирования;</li> <li>– давать характеристику разрабатываемых математических моделей по критериям классификации моделей;</li> <li>– осуществлять параметрическую идентификацию математических моделей;</li> <li>– проверять адекватность математических моделей с применением соответствующих критериев и методов.</li> </ul> <p>Владеет навыками выполнения программы научного исследования с использованием математических моделей объектов исследования, методов и технологий их построения и анализа.</p>		
	<p>Знает методы мягких вычислений, в том числе модели нечеткой логики и искусственные нейронные сети.</p> <p>Умеет разрабатывать эффективные вычислительные алгоритмы на основе выбранных методов.</p>	Правильные ответы на вопросы № 31–36 к экзамену	ПК-2
	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методы и технологии имитационного моделирования объектов и систем;</li> <li>– структуру типовой программной системы моделирования.</li> </ul>	Правильные ответы на вопросы № 37, 40–42, 44 к экзамену	ПК-3
Освоение раздела № 2	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– классификацию вычислительных методов;</li> <li>– требования, предъявляемые к вычислительным методам;</li> </ul>	Правильные ответы на вопросы № 18–30 к экзамену	ПК-2

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	<p>– методы численного решения уравнений математических моделей различных классов;</p> <p>– принципы разработки эффективных вычислительных алгоритмов.</p> <p>Умеет:</p> <p>– обосновывать выбор вычислительных методов для решения научных, технических и прикладных задач по критериям сходимости, точности, экономичности и универсальности;</p> <p>– разрабатывать эффективные вычислительные алгоритмы на основе выбранных методов.</p>		
Освоение раздела № 3	<p>Знает принципы разработки эффективных вычислительных алгоритмов.</p> <p>Умеет:</p> <p>– разрабатывать эффективные вычислительные алгоритмы на основе выбранных методов;</p> <p>– выполнять реализацию и тестирование вычислительных алгоритмов с применением современных компьютерных технологий.</p> <p>Владеет навыками создания и проверки работоспособности вычислительных алгоритмов.</p>	Правильные ответы на вопросы № 19–27, 29, 30, 32, 33, 35 к экзамену	ПК-2
	<p>Умеет:</p> <p>– разрабатывать структуру проблемно-ориентированной системы моделирования;</p> <p>– создавать алгоритм функционирования проблемно-ориентированной системы моделирования.</p> <p>Владеет методикой тестирования программных систем моделирования.</p>	Правильные ответы на вопросы № 37–39, 41–43 к экзамену	ПК-3
	<p>Знает:</p> <p>– этапы жизненного цикла программных комплексов;</p> <p>– постановку задачи разработки проблемно-ориентированного программного комплекса;</p> <p>– функциональную структуру типового проблемно-ориентированного программного комплекса;</p> <p>– структуры интерфейсов конечного пользователя (исследователя, проектировщика, оператора) и</p>	Правильные ответы на вопросы № 45–55 к экзамену	ПК-4

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	<p>разработчика типового проблемно-ориентированного программного комплекса;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования, предъявляемые к современным инструментальным средствам разработки гибких проблемно-ориентированных программных комплексов;</li> <li>– методы тестирования проблемно-ориентированных программных комплексов;</li> <li>– методику подготовки документов для подачи заявки на государственную регистрацию проблемно-ориентированных программных комплексов.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ставить задачу разработки проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– разрабатывать функциональную структуру проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– разрабатывать структуру интерфейсов конечного пользователя и разработчика проблемно-ориентированного программного комплекса в виде UML-диаграмм вариантов использования;</li> <li>– обосновывать выбор инструментальных средств разработки проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– обосновывать выбор метода тестирования и формировать исходные данные для тестирования проблемно-ориентированного программного комплекса;</li> <li>– разрабатывать (в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами) комплект документов для подачи заявки на государственную регистрацию проблемно-ориентированного программного комплекса.</li> </ul> <p>Владеет современными методами реализации ключевых этапов жизненного цикла проблемно-ориентированных программных комплексов для решения научных, технических и прикладных</p>		

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	проблем.		

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):  
промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания –  
балльная.

### **3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации.**

Ниже приведены примеры вопросов для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у аспиранта по предусмотренным профессиональным компетенциям. Полный перечень вопросов приведен в программе-минимуме кандидатского экзамена по направленности «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» (научной специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»).

#### **А) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у аспиранта по компетенции ПК-1:**

1. Основные понятия теории математического моделирования. Принципы моделирования. Классификация математических моделей. Требования, предъявляемые к математическим моделям.

2. Методология математического моделирования. Концептуальная модель. Выбор структуры математической модели. Элементарные математические модели в механике, гидродинамике, электродинамике.

3. Этапы математического моделирования. Формализованное описание объекта предметной области как объекта исследования (проектирования, управления). Методы построения математических моделей на основе фундаментальных законов природы. Вариационные принципы построения моделей.

4. Модели состояния динамических систем. Особые точки. Бифуркации. Динамический хаос. Хаотические модели. Эргодичность и перемешивание. Понятие о самоорганизации. Диссипативные структуры. Режимы с обострением. Принципы выбора модели.

5. 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. Преобразования моделей и их численный анализ. Выбор параметров математической модели, предварительные преобразования. Линейно-параметризованные модели, преобразование статических и динамических моделей. Анализ моделей.

7. Проверка адекватности математических моделей. Критерии адекватности.

8. Уровни математического описания химико-технологических процессов. Характеристика детерминированных моделей: линейные и нелинейные градиентные законы переноса физических субстанций (массы, импульса, энергии). Задание краевых условий.

9. Использование детерминированных и формальных моделей химико-технологических процессов. Дескриптивные и оптимизационные модели, их назначение. Статические и динамические модели. Модели с распределенными и сосредоточенными параметрами. Две основные части математической модели. Уравнение Умова как основа построения детерминированных математических моделей.

10. Реологические модели ньютоновских и аномально-вязких сред.
11. Идеальные математические модели структуры потоков в аппаратах химической технологии.
12. Математические модели смесителей, делителей потоков без химического превращения, теплообменников, процессов и аппаратов гетерогенного разделения, химических реакторов, насосов, трубопроводов, компрессоров.
13. Моделирование кинетики химических реакций. Решение обратной задачи химической кинетики.
14. Методы и алгоритмы планирования и обработки результатов экспериментов в химии и химической технологии. Использование современных компьютерных технологий для построения эмпирических моделей химико-технологических объектов.
15. Расчет динамических режимов химико-технологических систем. Общая характеристика динамических режимов. Нестационарные модели элементов химико-технологических систем.
16. Понятие об оптимизации химико-технологических процессов. Постановка задач оптимизации. Выбор свободных параметров оптимизации. Критерии оптимизации. Многокритериальная оптимизация.
17. 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.

**Б) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у аспиранта по компетенции ПК-2:**

18. Классификация вычислительных методов. Требования, предъявляемые к вычислительным методам.
19. 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.
20. Численное дифференцирование и интегрирование. Использование метода наименьших квадратов и метода Чебышева для решения задач аппроксимации. Численные методы поиска экстремума функций.
21. Системы линейных алгебраических уравнений и их разрешимость в зависимости от структуры матрицы системы. Метод прогонки и его отличие от метода последовательного исключения неизвестных (метода Гаусса). Использование прямых методов для решения систем линейных алгебраических уравнений.
22. 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.
23. Основные характеристики компьютерной реализации итерационных методов решения нелинейных уравнений и их систем.
24. Численные методы решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Сравнение методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. Алгоритмы автоматического поиска устойчивого шага интегрирования.
25. Методы решения краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений.
26. Алгоритмы решения «жестких» дифференциальных задач.
27. 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.

28. Метод конечных разностей. Априорные показатели качества разностных схем: согласованность, устойчивость, сходимость, точность. Методы анализа устойчивости. Условия устойчивости явных разностных схем для уравнений параболического и гиперболического типов. Теорема Лакса о сходимости.

29. Метод конечных разностей. Методы линеаризации разностных уравнений. Прямые и итерационные методы решения разностных уравнений.

30. Устойчивость вычислительных алгоритмов. Методы автоматического поиска устойчивых шагов расчета.

31. 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.

32. 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.

33. Нечеткая лингвистическая переменная. Нечеткие логические правила продукции. База знаний для нечетких продукционных моделей. Нечеткий вывод: фаззификация и нечеткая инференция. Дефаззификация и другие методы оценки результатов нечеткого вывода.

34. Программные комплексы разработки нечетких моделей. Методика построения нечетких моделей.

35. 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.

36. 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.

37. Сравнительные характеристики моделей на базе нечеткой логики и на основе искусственных нейронных сетей. Гибридные нейро-фаззи-модели.

### **В) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у аспиранта по компетенции ПК-3:**

38. Характеристика информационно-моделирующих программных комплексов.

39. Особенности использования информационно-моделирующих программных комплексов для расчета статических и динамических режимов химико-технологических систем.

40. Использование информационно-моделирующих программных комплексов для синтеза химико-технологических систем.

41. Особенности решения задач оптимизации химико-технологических систем с помощью информационно-моделирующих программных комплексов.

42. Имитационное моделирование. Общие характеристики. Области применения имитационных моделей.

43. Автоматические и диалоговые имитационные модели. Описание поведения системы, моделирование случайных факторов, управление модельным временем.

44. Стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Обработка и анализ результатов моделирования. Оценка качества имитационной модели. Подбор параметров распределений, оценка влияния и взаимосвязи факторов.

45. Моделирующие программные комплексы как средство анализа и синтеза динамических систем. Виды технических средств моделирования. Уровни и структуры программных средств моделирования.

46. Унифицированный язык моделирования (UML). Основные компоненты UML, описание семантики UML, графическая нотация, описание дополнительных понятий.

47. Структурные и поведенческие диаграммы унифицированного языка моделирования (UML).

48. Унифицированный язык моделирования (UML). Объект, составной объект, активный объект. Ассоциации, роли.

49. Программные системы имитационного моделирования: классификация, примеры.

50. Программные системы имитационного моделирования. 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.

#### **Г) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у аспиранта по компетенции ПК-4:**

51. Этапы жизненного цикла программного комплекса. Проектирование структуры программного комплекса: основные этапы, структурный анализ, структурное проектирование. Определение основных компонентов комплекса. Методы разработки данных. Методы разработки средств управления. Проектная документация.

52. Методы организации данных. Типы данных. Уровни их организации. Уровень логической организации данных. Представление данных. Физическая организация данных. Документирование данных.

53. 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.

54. Алгоритмические языки. Назначение и структура языков программирования высокого уровня, основные операторы. Технологии программирования. Структурное и модульное программирование. Объектно-ориентированное программирование.

55. Проектирование программных комплексов. Метод нисходящего проектирования. Метод расширения ядра. Метод восходящего проектирования. Анализ внутренних потоков данных.

56. Программные модули. Структурированные алгоритмы. Схемы передачи управления. Управляющие таблицы.

57. Проверка правильности программ. Обнаружение ошибок. Тестирование модулей. Формальные методы доказательства правильности программ.

58. Средства защиты программных комплексов.

59. Оптимизация программ. Экономия памяти. Экономия времени. Повышение эффективности программ. Средства оптимизации.

60. Технология разработки компьютерных моделей 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.

61. Методика подготовки документов для подачи заявки на государственную регистрацию проблемно-ориентированных программных комплексов.

К экзамену допускаются аспиранты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена аспирант получает три вопроса из перечня, приведенного выше (из программы-минимума кандидатского экзамена), и два вопроса из дополнительной программы кандидатского экзамена.

Время подготовки аспиранта к ответу – до 90 мин.

**4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями Положения о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся (приказ ректора от 12.12.2014 № 463) и СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015 КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.

Минобрнауки России  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

### ЗАДАНИЕ НА РЕФЕРАТ

Направление подготовки	09.06.01	Информатика и вычислительная техника
Направленность программы аспирантуры		Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ
Факультет		Информационных технологий и управления
Кафедра		Систем автоматизированного проектирования и управления
Учебная дисциплина		Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Обучающийся *Фамилия Имя Отчество*

Тема **Математические модели, численные методы и программный комплекс для исследования (проектирования, управления, обучения проектированию, обучения управлению) объектом диссертационного исследования**

*Исходные данные :*

- 1 Норенков, И. П. Автоматизированные информационные системы : учеб. пособие для вузов / И. П. Норенков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 342 с.
- 2 Литература (монографии, учебники, учебные пособия, статьи, тезисы докладов), электронные ресурсы (в том числе Интернет-сайты) по объекту диссертационного исследования.
- 3 Зарубин, В. С. Математическое моделирование в технике : учеб. для втузов / В. С. Зарубин. – 3-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 495 с.
- 4 Советов, Б. Я. Моделирование систем : учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – 7-е изд. – М. : Юрайт, 2016. – 343 с.
- 5 Голубева, Н. В. Математическое моделирование систем и процессов : учеб. пособие / Н. В. Голубева. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2013. – 192 с.
- 6 Чистякова, Т. Б. Математическое моделирование химико-технологических объектов с распределенными параметрами : учеб. пособие для вузов / Т. Б. Чистякова, А. Н. Полосин, Л. В. Гольцева. – СПб. : ЦОП «Профессия», 2010. – 239 с.
- 7 Литература, электронные ресурсы по математическим моделям для исследования (проектирования, управления, обучения проектированию, обучения управлению) объектом диссертационного исследования и аналогичными объектами.
- 8 Литература, электронные ресурсы по численным методам. Например, Волков, Е. А. Численные методы : учеб. пособие / Е. А. Волков. – 5-е изд., стер. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2008. – 248 с.
- 9 Литература, электронные ресурсы по характеристикам качества и тестированию

программных комплексов. Например,  
Липаев, В. В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств. Методы и стандарты / В. В. Липаев. – М. : Синтег, 2001. – 296 с.

*Перечень вопросов, подлежащих разработке :*

- 1 Сравнительный обзор математических моделей для исследования (проектирования, управления, обучения проектированию, обучения управлению) объектом диссертационного исследования и аналогичными объектами.
- 2 Построение формализованного описания объекта диссертационного исследования как объекта исследования (проектирования, управления).
- 3 Обоснование и формирование структуры математической модели объекта диссертационного исследования. Характеристика модели по критериям классификации моделей.
- 4 Обоснование выбора численных методов решения уравнений модели (с учетом типов уравнений и по критериям сходимости, точности, экономичности).
- 5 Разработка алгоритма расчета выходных параметров (параметров состояния, критериальных показателей) объекта диссертационного исследования по его математической модели, обеспечивающего выполнение требований устойчивости и точности решений.
- 6 Оценка модели по критериям универсальности, точности, адекватности, экономичности.
- 7 Описание характеристик качества (функциональные возможности, надежность, эффективность и др.) проблемно-ориентированного программного комплекса.
- 8 Обоснование выбора методов тестирования программного комплекса и подготовка исходных данных для тестирования.
- 9 Оформление реферата.

*Перечень графического материала :*

- 1 Сравнительная таблица математических моделей объекта диссертационного исследования и аналогичных объектов.
- 2 Формализованное описание объекта диссертационного исследования.
- 3 Структура математической модели объекта диссертационного исследования.
- 4 Блок-схема алгоритма расчета выходных параметров объекта.
- 5 Характеристика методов и исходных данных для тестирования комплекса.

*Характеристики аппаратного и программного обеспечения :*

Аппаратное обеспечение: персональный компьютер на базе микропроцессора Intel Core 2 Duo (3 ГГц), ОЗУ 4 Гб, НЖМД 500 Гб, монитор ЖК (17"), клавиатура, CD-ROM дисковод, мышь.  
Программное обеспечение: операционная система Microsoft Windows, текстовый редактор Apache OpenOffice Writer или LibreOffice Writer, графический редактор Microsoft Office Visio.

Дата выдачи задания

Дата представления реферата

Заведующая кафедрой, руководитель  
программы аспирантуры

Т. Б. Чистякова

Научный руководитель,  
должность

И. О. Фамилия

Преподаватель дисциплины,  
заведующая кафедрой, профессор

Т. Б. Чистякова

Задание принял к выполнению

И. О. Фамилия