

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 15.10.2024 13:35:42  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной и методической работе

\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский

«02» декабря 2021 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

## **Вычислительная гидродинамика и теплообмен**

Направление подготовки

**15.04.02 Технологические машины и оборудование**

Направленность программы магистратуры

**Интенсификация процессов и энергосберегающее технологическое оборудование**

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **механический**

Кафедра **оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры**

Санкт-Петербург

2021

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчики		проф. Р.Ш. Абиев

Рабочая программа дисциплины «Вычислительная гидродинамика и теплообмен» обсуждена на заседании кафедры оптимизации химической и биотехнологической аппаратуры, протокол от «    » \_\_\_\_\_ 2021 г. №    .

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Р.Ш. Абиев

Одобрено учебно-методической комиссией механического факультета,  
протокол от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г. № \_\_\_\_.

Председатель \_\_\_\_\_ А.Н.Луцко

### СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Технологические машины и оборудование»		А.Н. Луцко
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		М.З. Труханович
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

# Содержание

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	04
2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы	04
3 Объем дисциплины	04
4 Содержание дисциплины	05
4.1 Разделы дисциплины и виды занятий	05
4.2 Занятия лекционного типа	06
4.3 Занятия семинарского типа	07
4.3.1. Семинары, практические занятия	07
4.4 Самостоятельная работа	07
5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	07
6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	07
7 Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины	08
8 Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины	08
9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины	08
10 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	09
10.1 Информационные технологии	09
10.2 Программное обеспечение	09
10.3 Базы данных и информационные справочные системы	09
11 Материально-техническое обеспечение освоения дисциплины в ходе реализации образовательной программы	09
12 Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья	09
Приложения: 1 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	10

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

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

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<b>ПК-3</b> Автоматическое проектирование и контроль технологических процессов изготовления машиностроительных изделий высокой сложности и управление ими	<b>ПК-3.1</b> Способен планировать технологические эксперименты	<b>Знать:</b> Основные подходы к разработке математических моделей исследуемых машин, систем, процессов, явлений и объектов (ЗН-1); <b>Уметь:</b> Выполнять математическое моделирование технологических процессов, протекающих в машинах и аппаратах (У-1); <b>Владеть:</b> Современными методами расчета процессов тепло- и массопереноса в технологических машинах и оборудовании (Н-1).

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчиком РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Вычислительная гидродинамика и теплообмен» (Б1.В.03) входит в блок дисциплин «Часть, формируемая участниками образовательных отношений» подготовки магистров и изучается на 2 курсе в 3 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин бакалавриата: «Физика», «Химия», «Техническая термодинамика и теплотехника», «Гидромеханика неоднородных систем», «Процессы и аппараты химической технологии», «Явления тепло- массопереноса в химической технологии», «Машины и аппараты для процессов тепло- и массопереноса» др.

Полученные в процессе изучения дисциплины «Вычислительная гидродинамика и теплообмен» знания, умения и навыки могут быть использованы при подготовке, выполнении и защите выпускной квалификационной работы, при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических задач в будущей профессиональной деятельности.

## 3 Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/академических часов)	<b>7/252</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>98</b>
занятия лекционного типа	34
занятия семинарского типа, в т.ч.	51
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)	51 (10)
лабораторные работы	-
курсовое проектирование (КР или КП)	
КСР	13
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>127</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	Кр
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	экзамен (27)

## 4 Содержание дисциплины

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, академ. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, академ. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Введение. Уравнения гидродинамики и теплообмена.	4	3		7	ПК-3
2	Основы метода конечных разностей.	6	10		30	ПК-3
3	Конечно-разностные методы решения задач гиперболического, типа. Примеры.	8	10		30	ПК-3
4	Конечно-разностные методы решения задач параболического типа. Примеры.	12	12		30	ПК-3
5	Конечно-разностные методы решения задач эллиптического типа. Примеры.	4	16		30	ПК-3

### 4.2 Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академ. часы	Инновационная форма
1	<b>Введение. Уравнения гидродинамики и теплообмена:</b> Предмет дисциплины, ее цели и задачи. Программа дисциплины. Место дисциплины в образовательном процессе современного инженера. Связь с другими курсами. Уравнения в частных производных второго порядка. Основные понятия. Математическая классификация уравнений второго порядка. Корректно Примеры некоторых важных уравнений гидродинамики и теплообмена.	4	Слайд-презентация
2	<b>Основы метода конечных разностей:</b> Виды норм погрешностей счета. Чебышёвская и среднеквадратичная норма. Конечно-разностная аппроксимация уравнений в частных производных. Погрешность аппроксимации. Согласованность разностных схем. Устойчивость разностных схем: принцип максимума, спектральный метод Неймана. Примеры анализа устойчивости. Сходимость решения нестационарных задач.	6	Слайд-презентация
3	<b>Конечно-разностные методы решения задач гиперболического, параболического, эллиптического типа. Примеры.</b> Разложение функции в ряд Тейлора. Метод	8	Слайд-презентация

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	контрольного объема. Примеры применения метода контрольного объема к внутренним и граничным узлам сетки, в декартовых и цилиндрических координатах. Конечно-разностная аппроксимация граничных условий. Проблемы аппроксимации начальных условий для трехслойных схем. Конечно-разностные методы решения задач гиперболического типа.		
4	<b>Конечно-разностные методы решения задач параболического типа. Примеры.</b> Конечно-разностные методы решения задач параболического типа. Одномерное уравнение теплопроводности. Двумерное уравнение теплопроводности.	12	Слайд-презентация
5	<b>Конечно-разностные методы решения задач эллиптического типа. Примеры.</b> Конечно-разностные методы решения задач эллиптического типа. Уравнения Лапласа и Пуассона. Методы последовательной верхней и нижней релаксации. Блочные итерационные методы. Неявный метод переменных направлений. Метод Писмена-Ракфорда.	4	Слайд-презентация

### 4.3 Занятия семинарского типа

#### 4.3.1 Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	Расчет первой производной методом конечных разностей тремя способами, расчет второй производной. Расчет нормы разности. Определение порядка точности.	3	групповая дискуссия
2	Разработка программы для решения систем линейных алгебраических уравнений методом прогонки. Отладка и тестирование программы.	10	групповая дискуссия
3	Решение уравнения конвективного переноса четырьмя методами.	10	групповая дискуссия
4	Решение уравнения нестационарной одномерной теплопроводности с граничными условиями первого рода явным методом	12	групповая дискуссия
5	Решение уравнения нестационарной одномерной теплопроводности с граничными условиями третьего рода неявным методом	16	групповая дискуссия

#### 4.4 Самостоятельная работа обучающихся

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Определение типа уравнений в частных производных	7	Устный опрос
2	Построение конечно-разностного аналога уравнения в частных производных	30	Письменный опрос
3	Особенности расчета химически реагирующих течений	30	Устный опрос
4	Метод расщепления для системы уравнений переноса химических компонентов	30	Устный опрос
5	Метод конечных элементов в тепловых расчетах	30	Устный опрос

##### 4.4.1 Тематика контрольных работ

Контрольная работа состоит из четырех разделов, соответствующих лекционному курсу:

- 1) Определение типа уравнений в частных производных – два задания;
- 2) Построение конечно-разностного аналога уравнения в частных производных – два задания;
- 3) Определение условий устойчивости конечно-разностной схемы – одно задание;
- 4) Аппроксимация граничных условий – одно задание.



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

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте Медиа: <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 экзамена.

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

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций, и состоят из двух теоретических вопросов (для проверки знаний) из перечня вопросов к экзамену.

Время подготовки студента к устному ответу – до 45 мин.

Пример содержательной части экзаменационного билета:

- 1) Что такое граничные условия второго рода? Привести пример постановки второй краевой задачи.
- 2) Изобразить линии, по которым распространяются возмущения (семейства характеристик) для одномерного волнового уравнения второго порядка. Записать уравнения характеристик.

## **7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **а) печатные издания:**

1. Долгополов, Д. В. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений : Учебное пособие / Д. В. Долгополов ; СПбГТИ(ТУ). Каф. прикл. математики. СПб. : [б. и.], 2012. 33 с.
2. Советов, Б. Я. Моделирование систем. Практикум : учебное пособие для бакалавров: учебное пособие для вузов по направлениям "Информатика и вычислительная техника" и "Информационные системы" / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев ; С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т. 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2012. 295 с.

### **б) электронные учебные издания<sup>4</sup>:**

3. Гольцева, Л. В. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Базовый курс : учебное пособие для заочной формы обучения направления подготовки "Информатика и вычислительная техника" / Л. В. Гольцева, А. В. Козлов, А. Н. Полосин ; СПбГТИ(ТУ). Каф. систем автоматизир. проектирования и упр. Электрон. текстовые дан. СПб. : [б. и.], 2012. 85 с.

---

<sup>4</sup> В т.ч. и методические пособия

4. Копылов, А.З. Моделирование течений средствами САПР: практическое пособие/А.З. Копылов, В.И. Осипов, В.А. Цветков: Балт. гос. техн. ун-т. - СПб. 2018. - 23 с. <https://e.lanbook.com/book/122064>
5. Янчуковская, Е. В. Моделирование тепловых процессов в химической технологии. Примеры и задачи : учебное пособие / Е. В. Янчуковская. — Иркутск : ИРНИТУ, 2018. – 96 с. <https://e.lanbook.com/book/217178>

## **8 Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

1. учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>
2. Сайт Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатент) : Информационно-поисковая система - [http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content\\_ru/ru/inform\\_resources/inform\\_retrieval\\_system/](http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/)  
электронно-библиотечные системы:  
«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;  
«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями следующих СТП

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

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

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

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Шкала оценивания на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).

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

### **10.1 Информационные технологии**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС.

### **10.2 Программное обеспечение**

Microsoft Office (Microsoft Excel);  
Mathcad14

### **10.3 Базы данных и информационные справочные системы**

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»

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

Для ведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники, на 15 посадочных мест.

**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 «Вычислительная гидродинамика и теплообмен»  
I Перечень компетенций и этапов их формирования.**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
ПК-3	Автоматическое проектирование и контроль технологических процессов изготовления машиностроительных изделий высокой сложности и управление ими	промежуточный

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

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
<b>ПК-3.1</b> Способен планировать технологические эксперименты	(ЗН-1) Знает: математические модели процессов, протекающих в технологическом оборудовании, для оптимизации основных параметров проектируемого технологического оборудования, а также расширения технологических возможностей действующего оборудования	Ответы на вопросы №№ 1-41	Имеет общее представление о математических моделях процессов, начальных и граничных условиях	Имеет достаточно полное представление о математических моделях процессов, начальных и граничных условиях, но делает небольшие ошибки при формулировке задач	Имеет детальное представление о математических моделях процессов, начальных и граничных условиях
	(У-1) Умеет: выполнять математическое моделирование технологических процессов, протекающих в машинах и аппаратах	Ответы на вопросы №№ 42-91	Способен выполнять математическое моделирование технологических процессов с подсказками преподавателя	Способен выполнять математическое моделирование технологических процессов с некоторыми недочетами	Способен самостоятельно выполнять математическое моделирование технологических процессов
	(Н-1) Владеет: современными методами расчета процессов тепло- и массопереноса в	Решение контрольных задач	Способен использовать некоторые современные методы расчета процессов тепло- и массопереноса	Способен использовать значительную часть современных методов расчета процессов тепло- и массопереноса, но с	Способен корректно использовать значительную часть современных методов расчета процессов

	технологических машинах и оборудовании			некоторыми ошибками	тепло- и массопереноса
--	---	--	--	---------------------	------------------------

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, шкала оценивания – балльная.

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

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

1. Записать уравнение Лапласа в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
2. Записать уравнение Пуассона в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
3. Записать уравнение нестационарной теплопроводности в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
4. Записать уравнение нестационарной диффузии в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
5. Записать уравнение Фурье-Кирхгофа (нестационарной молекулярной и конвективной теплопроводности) в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
6. Записать одномерное волновое уравнение второго порядка в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
7. Записать уравнение Бюргерса с диффузионным членом в декартовых координатах. Объяснить физический смысл всех слагаемых.
8. Сформулировать понятие задачи Коши. Привести пример.
9. Сформулировать понятие краевой задачи. Привести пример.
10. Сформулировать понятие нестационарной краевой задачи. Привести пример.
11. Что такое граничные условия первого рода? Привести пример постановки первой краевой задачи.
12. Что такое граничные условия второго рода? Привести пример постановки второй краевой задачи.
13. Что такое граничные условия третьего рода? Привести пример постановки третьей краевой задачи.
14. Что такое граничные условия четвертого рода? Привести пример постановки соответствующей краевой задачи.
15. Записать трехдиагональную матрицу системы линейных алгебраических уравнений. Каким методом эффективней всего решать такую систему?
16. Пояснить суть метода прогонки. Для чего она используется?
17. Сформулировать понятие невязки. Привести примеры.
18. Сформулировать понятие метрики.
19. Сформулировать понятие нормы. Привести примеры.
20. Дать определение чебышёвской нормы для конечномерных пространств.
21. Дать определение гильбертовой нормы для конечномерных пространств.
22. Что такое сходимость в среднем?
23. Что такое равномерная сходимость?
24. Смысл понятия "погрешность аппроксимации".
25. Перечислить методы построения конечно-разностных схем.
26. Пояснить суть метода построения конечно-разностных схем с помощью разложения в ряд Тейлора.
27. Пояснить суть метода контрольного объема.
28. Пояснить суть интегро-интерполяционного метода.
29. Пояснить суть принципа расщепления.
30. Дать определение сходимости разностных схем.
31. Сформулировать теорему Лакса об эквивалентности (необходимое и достаточное условие сходимости разностной схемы).
32. Сформулировать понятие согласованности разностной схемы.
33. Сформулировать понятие устойчивости разностной схемы.

34. Изобразить концептуальную связь между согласованностью, устойчивостью и сходимостью.
35. Сформулировать принцип максимума (признак устойчивости явных и неявных двухслойных линейных разностных схем).
36. Пояснить, что такое множитель роста и как он связан с потерей устойчивости.
37. Сформулировать признак устойчивости по Нейману.
38. Что такое консервативная разностная схема?
39. Привести примеры дивергентной и недивергентной формы записи уравнений.
40. Записать одномерное волновое уравнение второго порядка и уравнения его характеристик.
41. Изобразить линии, по которым распространяются возмущения (семейства характеристик) для одномерного волнового уравнения второго порядка. Записать уравнения характеристик.
42. Записать схему "крест" для одномерной задачи, описываемой волновым уравнением второго порядка.
43. Записать неявную схему с весами для одномерной задачи, описываемой волновым уравнением второго порядка.
44. Записать уравнение конвективного переноса для волны, распространяющейся вправо. Пояснить физический смысл слагаемых уравнения.
45. Записать уравнение конвективного переноса для волны, распространяющейся влево. Пояснить физический смысл слагаемых уравнения.
46. Пояснить понятие несогласованности начальных и граничных условий.
47. Записать схему "явный правый уголок" для одномерного уравнения переноса.
48. Записать схему "явный левый уголок" для одномерного уравнения переноса.
49. Записать явную четырехточечную схему "тренога" (схему Эйлера) для одномерного уравнения переноса.
50. Записать схему Лакса для одномерного уравнения переноса.
51. Записать схему "крест" для одномерного уравнения переноса.
52. Записать схему "чехарда" для одномерного уравнения переноса.
53. Записать схему "неявный левый уголок" для одномерного уравнения переноса.
54. Записать схему "неявный правый уголок" для одномерного уравнения переноса.
55. Записать схему "прямоугольник" для одномерного уравнения переноса.
56. Записать неявную схему Эйлера для одномерного уравнения переноса.
57. Записать схему Кранка-Николсона для одномерного уравнения переноса.
58. Записать (одношаговую!) схему Лакса-Вендроффа для одномерного уравнения переноса.
59. Записать схему Мак-Кормака для одномерного уравнения переноса.
60. Сформулировать свойство монотонности разностных решений.
61. Сформулировать свойство позитивности разностных решений. Привести примеры.
62. Сформулировать признак монотонности для явных двухслойных схем. Сформулировать сопутствующие замечания и теорему.
63. Сформулировать понятие первого дифференциального приближения конечно-разностной схемы.
64. Сформулировать понятие аппроксимационной вязкости. Привести примеры.
65. Что такое диссипация и как она проявляется в разностных решениях?
66. Что такое дисперсия и как она проявляется в разностных решениях?
67. Параболические уравнения, краевые задачи и свойства решений.
68. Качественные свойства решений параболических ДУЧП.
69. Явные схемы для одномерного уравнения теплопроводности.
70. Неявные схемы для одномерного уравнения теплопроводности: Простой неявный метод, метод Кранка-Николсона.



71. Неявные схемы для одномерного уравнения теплопроводности: Обобщенная двухслойная схема и ее свойства.
72. Неявные схемы для одномерного уравнения теплопроводности: Обобщенная трехслойная неявная схема.
73. Неявные схемы для одномерного уравнения теплопроводности: Наилучшая двухслойная схема для одномерного уравнения теплопроводности.
74. Наилучшая схема для одномерного уравнения теплопроводности в цилиндрических и сферических координатах.
75. Методы решения нелинейного уравнения теплопроводности.
76. Методы решения двумерного уравнения теплопроводности: Продольно-поперечная схема (метод переменных направлений).
77. Методы решения двумерного уравнения теплопроводности: Обобщенная двухслойная схема (метод Дугласа-Ганна).
78. Методы решения двумерного уравнения теплопроводности: Локально-одномерная схема (метод мелких шагов).
79. Метод переменных направлений для трехмерного уравнения теплопроводности.
80. Явные методы решения одномерного уравнения конвекции и диффузии.
81. Неявные методы решения одномерного уравнения конвекции и диффузии.
82. Метод Патанкара для нестационарного одномерного уравнения конвекции и диффузии.
83. Двумерное уравнение конвекции и диффузии: Явные схемы.
84. Двумерное уравнение конвекции и диффузии: Неявные схемы.
85. Двумерное уравнение конвекции и диффузии: Метод Патанкара.
86. Конечно-разностные методы решения эллиптических уравнений: Пятиточечная схема Рунге, девятиточечная схема, диагональная пятиточечная схема.
87. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений: методы последовательной верхней и нижней релаксации.
88. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений: Метод чередующихся движений по столбцам и строкам.
89. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений: Метод Писмена-Ракфорда.
90. Понятие о характеристиках уравнений в частных производных. Уравнение характеристик для гиперболических систем.
91. Алгоритм решения методом характеристик гиперболического уравнения теплопроводности.

**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 СПП СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.