

«БАЛТИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ВОЕНМЕХ» ИМ. Д.Ф. УСТИНОВА»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор -  
проректор по образовательной  
деятельности

В.А.Бородавкин

08 2020

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Специальные главы математики

(указывается наименование дисциплины в соответствии с ФГОС и учебным планом)

Направление/  
специальность подготовки 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и  
ракетно-космических комплексов

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Специализация/профиль/программа  
подготовки Моделирование и информационные технологии проек-  
тирования ракетно-космических систем

Уровень высшего образования специалитет

(бакалавриат/ магистратура/ специалитет)

Форма обучения очная

Факультет А Ракетно-космической техники

(указывается индекс и полное наименование факультета Университета, заказавшего про-  
грамму)

Выпускающая кафедра А1 Ракетостроения

(указывается индекс и полное наименование выпускающей кафедры)

Кафедра-разработчик  
рабочей программы А1 Ракетостроения

(указывается индекс и полное наименование кафедры, составившей и реализующей про-  
грамму)

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (ПО НАЛИЧИЮ ВИДОВ ЗАНЯТИЙ)												Вид промежуточного контроля	
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ						САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА						
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	АУДИТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ		ДРУГИЕ ВИДЫ ЗАНЯТИЙ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	РАСЧЁТНО - ГРАФ. РАБОТА	РЕФЕРАТ		ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ
							ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	СЕМИНАРЫ								
3	5	3	108	68	51	-	17	-	-	40	-	-	-	-	40	ДИФ. ЗАЧ

Начальник отдела основных об-  
разовательных программ  
А.А. Русина /  
«31» 08 2020

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ\*

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

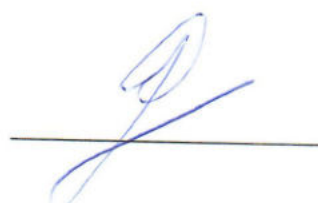
**24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и  
ракетно-космических комплексов**

(указывается индекс и наименование направления/специальности)

Программу составили:

Кафедра А1

Степанов Михаил Михайлович, доцент, к.т.н., с.н.с.



Эксперт(ы):

представитель АО «ЦКБ МТ «Рубин»

начальник группы Тарасов Юрий Александрович



Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

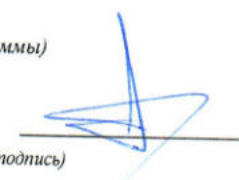
рабочей программы **А1 Ракетостроение**

(индекс и наименование кафедры-разработчика рабочей программы)

«31» 08 2020 г. Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., профессор

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры **А1 Ракетостроение**

(индекс и наименование выпускающей кафедры)

«31» 08 2020 г. Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., профессор

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



Рабочая программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений и специальностей подготовки (УМК по УГНиСП)

**24.00.00 Авиационная и ракетно-космическая техника**

(индекс)

(полное наименование направления)

протокол № 2/2020

(№ протокола)

«31» 08 2020 г. Председатель УМК по УГНиСП д.в.н., доц.

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



/ Сырцев А.Н. /

Учебная дисциплина обеспечена основной литературой

«31» 08 2020 г. Директор библиотеки БГТУ Сесина Н.В.

(Ф.И.О., уч. степень, уч. звание)

(подпись)



## Разделы рабочей программы

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО .....	5
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	6
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....	13
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	13
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....	135

## Приложения к рабочей программе дисциплины

Приложение 1. Аннотация рабочей программы

Приложение 2. Технологии и формы преподавания

Приложение 3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Приложение 4. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приложение 5. Фонды оценочных средств

Приложение 6. Справка о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова учебной литературы

Приложение 7. Лист изменений, вносимых в рабочую программу

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций на уровнях:

### Общепрофессиональных

ОК-2 - способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач	Пороговый уровень
--	-------------------

### Профессионально-специализированных

ОПК-2 - пониманием роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей)	Пороговый уровень
---	-------------------

### 1. студенты должны знать:

на уровне представлений:

- физические и математические модели, необходимые для разработки новых образцов ракетной техники (ОК-2, ОПК-2);
- численные методы, используемые для проведения расчетов по вышеуказанным моделям. В том числе, численные методы механики сплошной среды (ОК-2, ОПК-2);
- современные программные средства (в том числе программные пакеты), для проведения математических расчетов по вышеуказанным физико-математическим моделям (ОК-2, ОПК-2)

на уровне воспроизведения

- методы и расчетные схемы анализа и синтеза, применяемые в ракетостроении (ОК-2, ОПК-2);
- основные способы разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач (ОК-2, ОПК-2);
- способы проведения численных экспериментов процессов, происходящих при эксплуатации изделий РКТ и необходимые при разработке указанных изделий (ОК-15, ОПК-2).

на уровне понимания:

- математический аппарат, составляющий основу моделирования в ракетостроении (ОК-2, ОПК-2);
- принципы и средства численных методов механики сплошной среды, применяемых при разработке новых образцов ракетной техники (ОК-2, ОПК-2);
- основные свойства численных методов механики сплошной среды (ОК-2, ОПК-2);
- значения современных информационных технологий при решении задач математического моделирования в ракетостроении (ОК-2, ОПК-2).

### 2. студенты должны уметь:

теоретические знания использовать для проектирования изделий РКТ, различных по направлениям и применениям. При этом они должны уметь:

- проводить математическое моделирование процессов, происходящих в изделиях РКТ (ОК-2, ОПК-2);
- разрабатывать и применять численные методы для решения отмеченных задач (ОК-2, ОПК-2);
- строить и использовать основные виды математических моделей, используемых в ракетостроении (ОК-2, ОПК-2);
- знать современные методы численной реализации математических моделей, используемых при разработке новых образцов ракетной техники (ОК-2, ОПК-2);

практические знания современных методов численной реализации математических моделей использовать для решения конкретных инженерных задач, возникающих при разработке и эксплуатации различных образцов РКТ (ОК-2, ОПК-2).

### 3. студенты должны иметь навыки:

- разработки математических моделей, необходимых для разработки изделий РКТ (ОК-2, ОПК-2);
- разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач (ОК-2, ОПК-2);
- решения инженерных задач с применением вычислительной техники и современных пакетов вычислительных программ (ОК-2, ОПК-2).

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина «Специальные главы математики» является дисциплиной *вариативной части* Блока 1 программы.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: Математика (дифференциальное исчисление, линейная алгебра, интегральное исчисление, дифференциальные уравнения, теория функций комплексной переменной); Теоретическая механика; теоретические основы информатики; автоматизация инженерных расчетов; введение в специальность; электротехника и электроника; основы устройства и конструкции ракет и служит основой для освоения дисциплин: моделирование случайных процессов; гидрогазодинамика; основы проектирования ракетных систем; баллистика ракет; основы проектирования и моделирования энергоустановок; строительная механика ЛА; теория конструирования, двигатели летательных аппаратов и др., а также выпускной квалификационной работы.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

ОК-2 - способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач;

ОК-14 - способностью получать и обрабатывать информацию из различных источников, используя самые современные информационные технологии, способностью критически осмысливать полученную информацию выделять в ней главное, создавать на ее основе новые знания;

ОК-15 - наличием навыков работы с компьютером как средством управления, в том числе в режиме удаленного доступа, способностью работать с программными средствами общего и специального назначения;

ОК-18 - способностью самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой профессиональных компетенций, сохранения своего здоровья, нравственного и физического самосовершенствования, готовности содействовать обучению и развитию окружающих;

ОПК-2 - пониманием роли математических и естественнонаучных наук и способностью к приобретению новых математических и естественнонаучных знаний, с использованием современных образовательных и информационных технологий, способностью использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей);

ОПК-4 - способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности;

ПК-2 - способностью анализировать состояние и перспективы развития как ракетной и ракетно-космической техники в целом, так и ее отдельных направлений, создавать математические модели функционирования объектов ракетной и ракетно-космической техники.



### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

(с распределением общего бюджета времени в часах)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	НОМЕРА РАЗДЕЛОВ	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ	ФОРМИРУЕМАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ	
					ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	Аудиторный ПРАКТИКУМ (стандарт)	Лабораторный ПРАКТИКУМ		ОК-2	ОПК-2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	5	1	<p><b>ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ.</b></p> <p><b>Раздел 1.</b> Введение. ДУЧП в авиаракетостроении. Предмет науки «Численные методы механики сплошной среды». История вопроса. Физико-математические модели в авиа и ракетостроении, использующие уравнения и системы уравнений в частных производных. Примеры подобных моделей, применяемых в строительной механике летательных аппаратов (ЛА), динамике полета и баллистике, теории автоматического управления ЛА, для описания процессов теплообмена, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) излучающих газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д.</p> <p>Современные компьютерные технологии и вычислительные методы механики сплошной среды, применяемые при разработке новых образцов авиационной и ракетно-космической техники. Математическое моделирование и численный эксперимент.</p>	9	4	4	-	-	5	10%	10%
		2	<p><b>Раздел 2.</b> Классификация ДУЧП. Примеры дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных типов и их систем, применяемых при моделировании в авиаракетостроении. Классификация ДУЧП (физическая, математическая, с помощью характеристик). Краевые условия (начальные и граничные условия). Корректно поставленные задачи. Метод установления. Модельные уравнения. Системы ДУЧП. Классификация систем дифференциальных уравнений в ЧП.</p>	9	4	4	-	-	5	10%	10%

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		3	<b>Раздел 3.</b> Основы метода конечных разностей. Дискретизация. Сетки и сеточные функции. Разностная аппроксимация производных. Точность процессов дискретизации. Понятие о методе конечных разностей. Конечно-разностная аппроксимация ДУЧП. Методы построения конечно-разностных схем. Явные и неявные разностные схемы. Принцип расщепления. Примеры разностных схем. Место метода конечных разностей среди других для решения задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники.	15	10	10	-	-	5	20%	20%
		4	<b>Раздел 4.</b> Свойства разностных схем. Согласованность РС. Устойчивость РС. Сходимость РС. Исследование устойчивости РС. Метод Неймана исследования устойчивости РС. Связь между аппроксимацией, согласованностью, устойчивостью и сходимостью РС. Теорема Лакса о сходимости. Дивергентная форма записи ДУЧП и их систем, консервативность разностных схем. Оценка погрешности вычислений. Дифференциальное приближение (модифицированное уравнение). Качественные свойства разностных схем (позитивность, монотонность, диссипация – численная вязкость, дисперсия, диффузия РС, амплитудные, фазовые ошибки и др.).	13	8	8	-	-	5	20%	20%
		5	<b>Раздел 5.</b> ДУЧП гиперболического типа. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП гиперболического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. Применение метода конечных разностей для уравнений гиперболического типа (на примере волновых уравнений). Явные методы Эйлера. Метод против потока. Схема Лакса. Неявный метод Эйлера. Методы Лакса-Вендроффа (одношаговый, двухшаговый). Метод Мак-Корума. Двухшаговый метод Бима – Уорринга. Методы третьего порядка точности (трехшаговые методы Уорринга, Русанова). И др.	19	14	8	6	-	5	10%	10%
		6	<b>Раздел 6.</b> ДУЧП параболического типа. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП параболического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. Применение метода конечных разностей для уравнений параболического типа (на примере одномерного уравнения теплопроводности). Простой явный метод, простой неявный метод. Их преимущества и недостатки. Комбинированные методы. Метод Кранка-Николсона. Метод Дюфорта-Франкеля. Явный метод переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина). Методы решения двумерных уравнений теплопроводности. Методы: простой явный, простой неявный. Комбинированный метод. Метод Кранка – Николсона. Неявный метод переменных направлений. Метод дробных шагов (метод расщепления, метод Н.Н. Яненко). Метод классики. И др.	17	12	6	6	-	5	10%	10%

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		7	<p><b>Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.</b>  Примеры ДУЧП и систем ДУЧП эллиптического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. Применение метода конечных разностей для уравнений эллиптического типа (на примере уравнений Лапласа и Пуассона). Итерационные методы. Пятиточечная схема Рунге. Девятиточечная схема высокого порядка. Принцип установления. И др.</p>	14	9	4	5	-	5	10%	10%
		8	<p><b>Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.</b>  Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении. Метод характеристик. Методы сквозного счета (схема Годунова). Метод прямых. Метод интегральных соотношений Дородницына. Метод Теленина. Метод крупных частиц (Белоцерковского-Давыдова). Метод частиц в ячейках. Метод конечных элементов (объемов). Особенности решения ДУЧП с малым параметром при старшей производной. Методы решения "релаксационных" уравнений ("около-равновесная кинетика" – "жесткие" уравнения). Обзор задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники, в которых применяются данные методы.  Краткая характеристика программных комплексов Star-CD.</p>	12	7	7	-	-	5	10%	10%
			<b>ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>108</b>	<b>68</b>	<b>51</b>	<b>17</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	2	3	4
1	Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа	<p><u>Выполнение практической работы на тему:</u>  Методы решения гиперболических уравнений, применяющихся в авиаракетостроении (на примере одномерного волнового уравнения первого порядка).  Явные разностные схемы первого и второго порядков. Изучение РС Эйлера (1-ой и 2-ой). Схема против потока. Схема Лакса. Схема Лакса-Вендроффа. Схема Мак-Кормака. Схема Бигма-Уорминга. Схемы 3-го порядка точности. Аппроксимация, согласованность, устойчивость, сходимость РС. Критерии устойчивости. Диссипативные и дисперсионные ошибки. Качественные отличия схем первого и второго порядков точности для этих уравнений.</p>	6
2	Раздел 6. ДУЧП параболического типа	<p><u>Выполнение практической работы на тему:</u>  Методы решения параболических уравнений, применяющихся в авиаракетостроении (на примере одномерного уравнения теплопроводности). Исследование свойств явных методов для этих уравнений. Простой явный методов. Явные методы переменных направлений (методы Саульева, Бараката-Кларка, Ларкина).</p>	6



		Методы решения параболических уравнений, применяющихся в авиаракетостроении (на примере одномерного уравнения теплопроводности). Исследование свойств неявных методов для этих уравнений. Простой неявный метод. Метод Кранка-Николсона. Сравнение свойств явных и неявных методов. Комбинированные методы. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей. Методы прогонки.	
3	<b>Раздел 7.</b> ДУЧП эллиптического типа	<u>Выполнение практической работы на тему:</u> Методы решения эллиптических уравнений, применяющихся в авиаракетостроении (на примере двумерного уравнения Лапласа). «Прямой» метод Рунге (схема «крест», метод Либмана). Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Методы простой итерации и Гаусса-Зейделя. Точность метода. Сходимость метода. Метод «верхней нижней релаксации». Методы решения эллиптических уравнений (на примере двумерного уравнения Лапласа). Принцип установления. Простой явный метод. Метод Яненко Н.Н. Неявный метод переменных направлений. Метод классики и др.	5
4*	<b>Разделы 5, 8</b> ДУЧП гиперболического типа. Обзор методов	<u>Выполнение практической работы на тему:</u> Методы решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа методом конечных разностей (на примере «вязкого» уравнения Бюргерса).	-
5*	<b>Разделы 6, 8</b> ДУЧП параболического типа. Обзор методов	<u>Выполнение практической работы на тему:</u> Методы решения нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа методом конечных разностей (на примере «вязкого» уравнения Бюргерса)	-
6*	<b>Раздел 8</b> Обзор численных методов механики сплошной среды.	<u>Выполнение практической работы на тему:</u> Методы решения многомерных дифференциальных уравнений в частных производных методом конечных разностей (на примере двумерного параболического уравнения теплопроводности)	-
<b>Итого по дисциплине:</b>			<b>17</b>

#### Примечание:

1. практические работы выполняются с использованием специально разработанной программы.
2. (\*) - практические работы выполняются по желанию студента. При этом возможны три варианта их выполнения:

- решение заданной краевой задачи с использованием имеющейся специально разработанной программы;
- решение заданной краевой задачи с помощью разработанной студентом собственной программы на любом известном ему языке программирования;
- решение заданной краевой задачи в пакетах

#### **3.3. Лабораторный практикум программой дисциплины не предусмотрен**

#### **3.4. Самостоятельная работа студента (СРС).**

	Номер и наименование раздела дисциплины	СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО ЗАДАНИЯ	вре- мя (час)
			СРС
1	Раздел 1. Введение.	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 1 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы	5

2	<b>Раздел 2. Классификация ДУЧП.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 2 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы	5
3	<b>Раздел 3. Основы метода конечных разностей.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 3 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы	5
4	<b>Раздел 4. Свойства разностных схем.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 4 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы	5
5	<b>Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 5 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы Подготовка к выполнению практической работы 1 Оформление практической работы 1	5
6	<b>Раздел 6. ДУЧП параболического типа.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 6 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы Подготовка к выполнению практической работы 2 Оформление практической работы 2	5
7	<b>Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 7 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы Подготовка к выполнению практической работы 3 Оформление практической работы 3	5
8	<b>Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.</b>	Подготовка к восприятию лекционного материала по теме раздела 8 Изучение лекционного материала Изучение основной и дополнительной литературы	5
<b>Всего</b>			<b>40</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

##### ГРАФИК КОНТРОЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5			ПЗ1			ПЗ1		ПЗ1*						ПЗ1		ПЗ1*	диф.зач.

Условные обозначения:

- ПЗ1 – защита задания одного практического занятия.
- ПЗ1\* – практические работы, выполняемые по желанию студента.

**Текущая аттестация** студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем (ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- защита практических работ;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, соблюдение сроков выполнения контрольных мероприятий, установленных графиком.

**Рубежная аттестация** студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- защита двух практических работ;

**Промежуточный контроль** по результатам семестра по дисциплине проходит в форме дифференцированного зачета, который включает в себя ответы на теоретические вопросы.

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты образования по данной дисциплине, включены в состав УМК дисциплины и перечислены в Приложении 5.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература:

1. **Емельянов, Владислав Николаевич.** Численные методы: введение в теорию разностных систем [Текст] : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Н. Емельянов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2018. - 188 с. : схемы, граф. - (Бакалавр. Академический курс). - Об авт.: с. 2, послед. с. обл. - Библиогр.: с. 184-187. - Предмет. указ.: с. 188. - ISBN 978-5-534-06617-3 : 1 экз.
2. **Емельянов, Владислав Николаевич.** Численные методы: введение в теорию разностных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Н. Емельянов. - 2-е изд., испр. и доп. - Электрон. текстовые дан. - М. : Юрайт, 2020. - 188 с. : схемы, граф. - (ЭБС Юрайт) (Высшее образование). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453264> (дата обращения: 03.12.2020).
3. **Киреев, Владимир Иванович.** Численные методы в примерах и задачах [Текст] : учебное пособие для вузов / В. И. Киреев, А. В. Пантелеев. - Изд. 4-е, испр. - СПб. : Лань, 2015. - 447 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 441-443. - Задачи для самостоят. решения: в конце глав. - ISBN 978-5-8114-1888-6 : 100 экз.
4. **Киреев, Владимир Иванович.** Численные методы в примерах и задачах [Электронный ресурс] / В. И. Киреев. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2015. - 448 с. - (ЭБС Лань). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/65043> (дата обращения: 03.09.2020).
5. **Жидков, Евгений Николаевич.** Вычислительная математика [Текст] : учебник для вузов / Е. Н. Жидков. - 2-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 198 с. : граф., табл. - (Высшее профессиональное образование. Естественные науки) (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 191-192. - Задачи для самостоят. решения: в конце глав. - Предмет. указ.: с. 193-195. - ISBN 978-5-4468-0222-7 15 экз.
6. **Степанов, Михаил Михайлович.** Численные методы в ракетостроении [Текст] : аудиторный практикум [для вузов] / М. М. Степанов, С. К. Савельев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2019. - 211 с. : граф., обр., схемы, табл. - Библиогр.: с. 172-173. - Прил.: с. 174-209 39 экз.
7. **Степанов, Михаил Михайлович.** Численные методы в ракетостроении [Электронный ресурс] : аудиторный практикум [для вузов] / М. М. Степанов, С. К. Савельев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2019. - 1 эл. жестк. диск : граф., обр., схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации \lib\_server\elres\elr03122.pdf. - Библиогр.: с. 172-173. - Прил.: с. 174-209.
8. **Голоскоков, Дмитрий Петрович.** Курс математической физики с использованием пакета Maple [Текст] : учебное пособие для вузов / Д. П. Голоскоков. - Изд. 2-е, испр. - СПб. : Лань, 2015. - 575 с. : граф., схемы, табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 568-569. - Вопросы, задачи, примеры решения задач: в конце глав. - Прил.: с. 566-567. - ISBN 978-5-8114-1854-1 45 экз.
9. **Численные методы** [Электронный ресурс] : учебник и практикум для академического бакалавриата / У. Г. Пирумов [и др.] ; ред. У. Г. Пирумов. - 5-е изд., перераб. и доп. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Юрайт, 2019. - 421 с. - (ЭБС Юрайт) (Бакалавр. Академический курс). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <http://www.urait.ru/bcode/431961> (дата обращения: 01.10.2020).

### 5.2. Дополнительная литература:

1. **Зализняк, Виктор Евгеньевич.** Основы вычислительной физики [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Е. Зализняк. - М. : Техносфера, 2008. - (Мир физики и техники ; П.06). Ч. I : Введение в конечно-разностные методы. - 2008. - 223 с. : граф., схемы, табл. - Об авторе: послед. с. облож. - Библиогр.: с. 223. - Приложения: с. 201-222. - ISBN 978-5-94836-132-1 : 31 экз.
2. **Волков, Константин Николаевич.** Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа [Текст] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 465 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 440-465. - Библиогр. в подстроч. прим. - Прил.: с. 425-439. - ISBN 978-5-9221-1438-7 63 экз.
3. **Волков, Константин Николаевич.** Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа [Электронный ресурс] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. - Электрон. текстовые дан. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 1 эл. жестк. диск : цв. : граф., схемы, табл. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \lib\_server\elres\elr02753.pdf. - Библиогр.: с. 440-465. - Библиогр. в подстроч. прим. - Прил.: с. 427-439. - ISBN 978-5-9221-1438-7 :

4. **Шапоров, Сергей Дмитриевич.** Методы вычислительной математики и их приложения [Текст] : учебное пособие / С. Д. Шапоров ; ред. Н. К. Золина, Т. Х. Черкасова ; подгот. изд. И. С. Морозова, А. В. Морозов. - СПб. : СМЮ Пресс, 2003. - 230 с. : табл., ил, граф. - Загл. обл. : Высшая математика. - Библиогр.: с. 228. - В конце глав - лабораторные работы. - ISBN 5-7704-0121-4 : 526 экз.
5. **Шапоров, Сергей Дмитриевич.** Методы вычислительной математики и их приложения [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / С. Д. Шапоров ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2002. - 1 эл. жестк. диск : табл., ил, граф. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации c:\elresfobib\elr00128.pdf. - Библиогр.: с. 227 - 228. - В конце глав - лабораторные работы
6. **Кирсанов, Михаил Николаевич.** Maple и MapleT. Решения задач механики [Текст] : учебное пособие [для вузов] / М. Н. Кирсанов. - СПб. : Лань, 2020. - 510 с. : граф., обр., схемы, табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Об авт.: послед. с. облож. - Библиогр.: с. 491-493. - Прил.: с. 485-490. - Предмет. и имен. указ.: с. 496-510. - ISBN 978-5-8114-1271-6 : 70 экз.
7. **Кирсанов, Михаил Николаевич.** Maple и MapleT. Решения задач механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Н. Кирсанов. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2012. - 512 с. - (ЭБС Лань). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/3181> (дата обращения: 03.09.2020).
8. **Рагулина, Марина Ивановна.** Информационные технологии в математике [Текст] : учебное пособие для вузов / М. И. Рагулина ; ред. М. П. Лапчик. - М. : Академия, 2008. - 301 с. : граф., обр., схемы, табл. - (Высшее профессиональное образование. Педагогические специальности). - КОПИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕНО. - Библиогр.: с. 299. - Контр. вопросы, упражн., тесты, лаб. раб.: в конце глав. - ISBN 978-5-7695-2710-4 3 экз.
9. **Лебедев, Михаил Олегович.** Численные методы решения уравнений математической физики [Текст] : учебное пособие [для вузов] / М. О. Лебедев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2012. - 143 с. : схемы, табл., граф. - Библиогр.: с. 141-142. - ISBN 978-5-85546-688-1 : 78 экз.
10. **Прохоров, Геннадий.** Пакет символьных вычислений Maple V [Электронный ресурс] / Г. В. Прохоров, М. А. Леденев, В. В. Колбеев. - Электрон. текстовые дан. - 1 эл. жестк. диск : граф., схем. - \lib\_server\elres\elr00314.pdf. - Библиогр.: с. 188. - Список терминов: с. 189-194. - Алфавит. указ.: с. 195-198

### 5.3. Электронные ресурсы, Интернет-ресурсы, электронные библиотечные системы:

1. Электронно-библиотечная система издательства «ЛАНЬ» – <http://e.lanbook.com>;
2. Электронно-библиотечная система «ЮРАЙТ» <http://www.biblio-online.ru>

### 5.4. Программное обеспечение.

- Специально разработанный программный комплекс, находящийся в ВЦ Университета и ВЦ кафедры А1;

### 5.5. Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса

- Применение средств мультимедиа в образовательном процессе: практические занятия проводятся с использованием электронных презентаций.
- Доступность учебных материалов через сеть Интернет для любого участника учебного процесса.
- Организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1 Лекционные занятия:**

- комплект электронных презентаций/слайдов.
- аудитории ск-21а, ск-21б, 101, 334, 344 оснащенные презентационной техникой (проектор, экран, компьютер).

### **6.2. Практические работы:**

- компьютерный класс ск-21б, компьютерные классы университета,
- презентационная техника (проектор, экран, компьютер),
- пакеты ПО общего назначения (текстовые редакторы типа MS WORD, WordPerfect, графические редакторы типа Excel, Improv, средства презентационной графики –: PowerPoint, Multimedia Viewer,

- специализированное ПО.

#### **Пакеты прикладных программ, находящихся в ВЦ кафедры:**

- специализированное ПО.

### **6.3. Прочее**

- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет,
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина «Специальные главы математики» является дисциплиной *вариативной части* Блока 1 программы подготовки студентов по специальности **24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»**. Дисциплина реализуется на факультете «А» («Ракетно-космическая техника») БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова кафедрой «А1» («Ракетостроение»).

Дисциплина нацелена на формирование общепрофессиональной компетенции, характеризующейся способностью специалиста иметь навыки: использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач (ОК-2); и профессионально-специализированной компетенции, характеризующейся способностью специалиста понимать роль математических и естественнонаучных наук, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, с использованием современных образовательных и информационных технологий, использовать в профессиональной деятельности знания и методы, полученные при изучении математических и естественнонаучных дисциплин (модулей) – (ОПК-2).

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами решения инженерных задач, возникающих в ходе разработки новых образцов ракетной техники, которые требуют решение математических задач с применением вычислительной техники.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические работы, самостоятельную работу студента, консультации.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости в форме тестирования, рубежный контроль (после половины семестра) в форме защиты практических работ и промежуточный контроль в форме дифференцированного зачета, который включает в себя ответы на теоретические вопросы.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Программой дисциплины предусмотрены лекционные (51 час), практические (17 часов) занятия и 40 часов самостоятельной работы студента.



## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ

### Рекомендации по организации и технологиям обучения для преподавателя

#### I. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

**1. Информационные технологии** – обучение в электронной образовательной среде по разделам:

**раздел 1.** Введение; **раздел 2.** Классификация ДУЧП.; **раздел 3.** Основы метода конечных разностей; **раздел 4.** Свойства разностных схем; **раздел 5.** ДУЧП гиперболического типа; **раздел 6.** ДУЧП параболического типа; **раздел 7.** ДУЧП эллиптического типа; **раздел 8.** Обзор численных методов механики сплошной среды.

**2. Работа в команде** – совместная деятельность студентов в группе под руководством преподавателя, направленная на решение общей задачи путем творческого сложения результатов индивидуальной работы членов команды по разделам: **раздел 1.** Введение; **раздел 2.** Классификация ДУЧП.; **раздел 3.** Основы метода конечных разностей; **раздел 4.** Свойства разностных схем; **раздел 5.** ДУЧП гиперболического типа; **раздел 6.** ДУЧП параболического типа; **раздел 7.** ДУЧП эллиптического типа; **раздел 8.** Обзор численных методов механики сплошной среды.

**3. Междисциплинарное обучение** – использование знаний из разных областей, их группировка и концентрация в контексте решаемой задачи. Используется в разделах: **раздел 1.** Введение; **раздел 2.** Классификация ДУЧП.; **раздел 3.** Основы метода конечных разностей; **раздел 4.** Свойства разностных схем; **раздел 5.** ДУЧП гиперболического типа; **раздел 6.** ДУЧП параболического типа; **раздел 7.** ДУЧП эллиптического типа; **раздел 8.** Обзор численных методов механики сплошной среды.

**4. Проблемное обучение** – стимулирование студентов к самостоятельному приобретению знаний, необходимых для решения конкретной проблемы. Используется в разделах: **раздел 1.** Введение; **раздел 2.** Классификация ДУЧП.; **раздел 3.** Основы метода конечных разностей; **раздел 4.** Свойства разностных схем; **раздел 5.** ДУЧП гиперболического типа; **раздел 6.** ДУЧП параболического типа; **раздел 7.** ДУЧП эллиптического типа; **раздел 8.** Обзор численных методов механики сплошной среды.

**5. Опережающая самостоятельная работа** – изучение студентами нового материала при подготовке к практическим занятиям по разделам 5-7.

#### II. Виды и содержание учебных занятий

**Раздел 1.** Введение. ДУЧП в авиаракетостроении.

**Теоретические занятия (лекции) – 4 часа.**

**Лекция 1.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Предмет науки «Численные методы механики сплошной среды». История вопроса.
2. Физико-математические модели в авиа и ракетостроении, использующие уравнения и системы уравнений в частных производных.
3. Примеры подобных моделей, применяемых в строительной механике летательных аппаратов (ЛА), динамике полета и баллистике, теории автоматического управления ЛА, для описания процессов теплообмена, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) плазменных газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д.

**Лекция 2.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Современные компьютерные технологии и вычислительные методы механики сплошной среды, применяемые при разработке новых образцов авиационной и ракетно-космической техники.
2. Математическое моделирование и численный эксперимент.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

## **Раздел 2. Классификация ДУЧП.**

### **Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.**

#### **Лекция 3. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Примеры дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных типов и их систем, применяемых при моделировании в авиаракетостроении.
2. Классификация ДУЧП (физическая, математическая, с помощью характеристик).
3. Краевые условия (начальные и граничные условия).

#### **Лекция 4. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Корректно поставленные задачи.
2. Метод установления.
3. Модельные уравнения.
4. Системы ДУЧП. Классификация систем дифференциальных уравнений в ЧП.

### **Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

## **Раздел 3. Основы метода конечных разностей**

### **Теоретические занятия (лекции) - 10 часа.**

#### **Лекция 5. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Дискретизация. Сетки и сеточные функции.
2. Вопросы построения сеток.

#### **Лекция 6. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Разностная аппроксимация производных
2. Точность процессов дискретизации.

#### **Лекция 7. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Понятие о методе конечных разностей.
2. Конечно-разностная аппроксимация ДУЧП

#### **Лекция 8. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Методы построения конечно-разностных схем.
2. Явные и неявные разностные схемы.
3. Принцип расщепления.

#### **Лекция 9. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Место метода конечных разностей среди других для решения задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники.
2. Примеры разностных схем.

### **Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

## **Раздел 4. Свойства разностных схем.**

### **Теоретические занятия (лекции) - 8 часа.**

#### **Лекция 10. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Погрешность аппроксимации РС. Согласованность РС. Устойчивость РС. Сходимость РС.
2. Исследование устойчивости РС. Метод Неймана исследования устойчивости РС.

#### **Лекция 11. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, примененной для решения одномерного уравнения теплопроводности (ДУЧП параболического типа).
2. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости метода против потока, примененного для одномерного волнового уравнения первого порядка (ДУЧП гиперболического типа).
3. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, примененной для решения двумерного уравнения теплопроводности (многочленные ДУЧП).

#### **Лекция 12. Тип лекции – «информационная».**

Структура и схема лекции:

1. Связь между аппроксимацией, согласованностью, устойчивостью и сходимостью РС. Теорема Лакса о сходимости.
2. Дивергентная форма записи ДУЧП и их систем, консервативность разностных схем.
3. Оценка погрешности вычислений при использовании метода конечных разностей для решения ДУЧП.

**Лекция 13.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Дифференциальное приближение (модифицированное уравнение). Пример вывода дифференциального приближения (модифицированное уравнение) для метода против потока, применённого для одномерного волнового уравнения первого порядка.
2. Качественные свойства разностных схем (позитивность, монотонность, диссипация – численная вязкость, дисперсия, диффузия РС, амплитудные, фазовые ошибки и др.).

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

**Раздел 5.** ДУЧП гиперболического типа.

**Теоретические занятия (лекции) - 8 часов.**

**Лекция 14.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП гиперболического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники.
2. Применение метода конечных разностей для уравнений гиперболического типа (на примере волновых уравнений).

**Лекция 15.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Явные методы Эйлера.
2. Метод против потока. Схема Лакса.

**Лекция 16.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Неявный метод Эйлера.
2. Методы Лакса-Вендроффа (одношаговый, двухшаговый).

**Лекция 17.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Метод Мак-Кормака.
2. Двухшаговый метод Бима – Уорминга.
3. Методы третьего порядка точности (трехшаговые методы Уорминга, Русанова).

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

**Аудиторный практикум - 6 часов, 1 работа.**

**Практическое занятие № 1-3.**

Выполнение практической работы на тему:

Методы решения гиперболических уравнений (на примере одномерного волнового уравнения первого порядка).

Исследование свойств (двух-четырех – предложенных преподавателем) разностных схем (РС) из следующих:

РС Эйлера (1-ая и 2-ая). Схема против потока. Схема Лакса. Схема Лакса-Вендроффа. Схема Мак-Кормака. Схема Бима-Уорминга. Схемы 3-го порядка точности. Аппроксимация, согласованность, устойчивость, сходимость РС. Критерии устойчивости. Диссипативные и дисперсионные ошибки. Качественные отличия схем первого и второго порядков точности для этих уравнений.

**Раздел 6.** ДУЧП параболического типа.

**Теоретические занятия (лекции) - 6 часа.**

**Лекция 18.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП параболического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники.
2. Применение метода конечных разностей для уравнений параболического типа (на примере одномерного уравнения теплопроводности).
3. Простой явный метод, простой неявный метод. Их преимущества и недостатки.

**Лекция 19.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Комбинированные методы. Метод Кранка-Николсона.
2. Метод Дюфорта-Франкеля.

3. Явный метод переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина).

**Лекция 20.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Методы решения двумерных уравнений теплопроводности.
2. Методы: простой явный, простой неявный, Комбинированный метод, Метод Кранка – Николсона.
3. Неявный метод переменных направлений.
4. Метод дробных шагов (метод расщепления, метод П.Н. Яненко), Метод классики.

**Аудиторный практикум - 6 часов, 1 работа.**

**Практическое занятие № 4-5 (3 часа).**

Выполнение практической работы на тему:

Методы решения параболических уравнений (на примере одномерного уравнения теплопроводности).

Исследование свойств (двух – предложенных преподавателем) явных РС из следующих:

простой явный метод; явные методы переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина).

**Практическое занятие № 5-6 (3 часа).**

Выполнение практической работы на тему:

Методы решения параболических уравнений, (на примере одномерного уравнения теплопроводности).

Исследование свойств (двух – предложенных преподавателем) неявных РС из следующих:

простой неявный метод; метод Кранка-Николсона; комбинированные методы.

Сравнение свойств явных и неявных методов.

Методы решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей.

Методы прогонки.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

**Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.**

**Теоретические занятия (лекции) - 4 часа.**

**Лекция 21.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП эллиптического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиационной и космической техники.
2. Применение метода конечных разностей для уравнений эллиптического типа (на примере уравнений Лапласа и Пуассона). Итерационные методы. Пятиточечная схема Рунге. Девятиточечная схема высокого порядка.

**Лекция 22.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

1. Принцип установления.
2. Примеры конечноразностных схем для решения двумерного уравнения Лапласа, использующих принцип установления.

**Аудиторный практикум - 5 часов, 1 работа.**

**Практическое занятие № 7-8 (3 часа).**

Выполнение практической работы на тему:

Методы решения эллиптических уравнений, (на примере двумерного уравнения Лапласа).

1. «Прямой» метод Рунге (схема «крест», метод Либмана).

2. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Методы простой итерации и Гаусса-Зейделя. Точность метода. Сходимость метода. Метод «верхней-нижней релаксации».

**Практическое занятие № 8-9. (2 часа).**

Выполнение практической работы на тему:

Методы решения эллиптических уравнений (на примере двумерного уравнения Лапласа), основанные на принципе «принципа установления»:

Исследование свойств одной из следующих РС:

простой явный метод; метод Яненко Н.Н.; неявный метод переменных направлений; метод классики и др.

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

**Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.**

**Теоретические занятия (лекция) - 7 часов.**

**Лекция 23.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиационной механике:

1. Метод характеристик.
2. Методы сквозного счета (схема Годунова).
3. Метод прямых.

**Лекция 24.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении:

1. Метод интегральных соотношений Дороднищина.
2. Метод Теленина.
3. Метод крупных частиц (Белоцерковского-Давыдова).
4. Метод частиц в ячейках.

**Лекция 25.** Тип лекции – «информационная».

Структура и схема лекции:

Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении:

1. Метод конечных элементов (объемов).
2. Особенности решения ДУЧП с малым параметром при старшей производной. Методы решения “релаксационных” уравнений (“околоравновесная кинетика” – “жесткие” уравнения).

**Лекция 26.** Тип лекции – «информационная». ( 1 час).

Структура и схема лекции:

1. Обзор задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники, в которых применяются данные методы.
2. Краткая характеристика программных комплексов ANSYS, FlowVision, Star-CD, Solidworks

**Управление самостоятельной работой студента – 0,2 часа.**

Форма управления самостоятельной работой студента – консультации по подготовке к практическим занятиям и освоению материала.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 часа, из них 68 часов аудиторных занятий и 76 часа, отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о порядке проведения промежуточной аттестации студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в п.4 Рабочей программы и в Приложении 5 к Рабочей программе.

Вид работы	Содержание (перечень вопросов)	Трудоемкость, час.	Рекомендации
1	2	3	4
<b>Раздел 1. ДУЧП. Введение.</b>			
Подготовка к лекции № 1	1. Предмет науки «Численные методы механики сплошной среды». История вопроса. 2. Физико-математические модели в авиа и ракетостроении, использующие уравнения и системы уравнений в частных производных. 3. Примеры подобных моделей, применяемых в строительной механике летательных аппаратов (ЛА), динамике полета и баллистике, теории автоматического управления ЛА, для описания процессов тепломассопереноса, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) излучающих газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д.	2	Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. – 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9 Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> . Гл. 7 Емельянов В.Н. Численные методы: введение в теорию разностных систем.: учебное пособие для академического бакалавриата / В. Н. Емельянов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2018. - 188 с.
Подготовка к лекции № 2	1. Современные компьютерные технологии и вычислительные методы механики сплошной среды, применяемые при разработке новых образцов авиационной и ракетно-космической техники. 2. Математическое моделирование и численный эксперимент.	3	Голоскоков, Д.П. Курс математической физики с использованием пакета Maple - СПб.: Лань, 2015. - 575 с. 43 экз.. Введение, Гл.1. Рагулина М.И. Информационные технологии в математике. М. : Академия, 2008. - 301 с. : 3 экз. Гл.1.
<b>Итого по разделу 1</b>		<b>5 часов</b>	
<b>Раздел 2. Классификация ДУЧП.</b>			
Подготовка к лекции № 3	1. Примеры дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных типов и их систем, применяемых при моделировании в авиаракетостроении. 2. Классификация ДУЧП (физическая, математическая, с помощью характеристик).	3	Емельянов В.Н. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. – 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9



	3. Краевые условия (начальные и граничные условия).		Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> , Гл. 7
Подготовка к лекции № 4	1. Корректно поставленные задачи. 2. Метод установления. 3. Модельные уравнения. 4. Системы ДУЧП. Классификация систем дифференциальных уравнений в ЧП.	2	Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> , Гл. 8, 9 Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> , Гл. 7
Итого по разделу 2		5 часов	
Раздел 3. Основы метода конечных разностей			
Подготовка к лекции № 5	1. Дискретизация. Сетки и сеточные функции. 2. Вопросы построения сеток.	1	Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> , Гл. 8, 9 Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> , Гл. 7
Подготовка к лекции № 6	1. Разностная аппроксимация производных 2. Точность процессов дискретизации.	1	Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> , Гл. 8, 9 Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> , Гл. 7
Подготовка к лекции № 7	1. Понятие о методе конечных разностей. 2. Конечно-разностная аппроксимация ДУЧП	1	Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> , Гл. 8, 9 Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> , Гл. 7
Подготовка к лекции № 8	1. Методы построения конечно-разностных схем. 2. Явные и неявные разностные схемы. 3. Принципы расщепления.	1	Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> , Гл. 8, 9 Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> , Гл. 7
Подготовка к лекции № 9	1. Место метода конечных разностей среди других для решения задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники.	1	Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2

	2. Примеры разностных схем.			Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9 Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> . Гл. 7
<b>Итого по разделу 3</b>		<b>5 часов</b>		
<b>Раздел 4. Свойства разностных схем.</b>				
Подготовка к лекции № 10	1. Погрешность, аппроксимация РС. Согласованность РС. Устойчивость РС. Сходимость РС. 2. Исследование устойчивости РС. Метод Неймана исследования устойчивости РС.	2		Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2, 3 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9 Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> . Гл. 7
Подготовка к лекции № 11	1. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, примененной для решения одномерного уравнения теплопроводности (ДУЧП параболического типа). 2. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости метода против потока, примененного для одномерного волнового уравнения первого порядка (ДУЧП гиперболического типа). 3. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, примененной для решения двумерного уравнения теплопроводности (многомерные ДУЧП).	1		Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2, 3 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9 Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> . Гл. 7 Емельянов В.П. Численные методы: введение в теорию разностных схем: учебное пособие для академического бакалавриата / В. П. Емельянов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Юрайт, 2018. - 188 с.
Подготовка к лекции № 12	1. Связь между аппроксимацией, согласованностью, устойчивостью и сходимостью РС. Теорема Лааса о сходимости 2. Дивергентная форма записи ДУЧП и их систем, консервативность разностных схем. 3. Оценка погрешности вычислений при использовании метода конечных разностей для решения ДУЧП.	1		Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2, 3 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9 Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> . Гл. 7
Подготовка к лекции № 13	1. Дифференциальное приближение (модифицированное уравнение). Пример вывода дифференциальное приближение (модифицированное уравнение) для метода против потока, примененного для одномерного волнового уравнения первого порядка. 2. Качественные свойства разностных схем (позитивность, монотонность, диссипация, численная вязкость, дисперсия, диффузия РС, амплитудные, фазовые ошибки и др.).	1		Емельянов В.П. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. Гл. 1, 2 Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . Гл. 8,9 Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> . Гл. 7
<b>Итого по разделу 4</b>		<b>5 часов</b>		
<b>Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа</b>				
Подготовка к лекции № 14	1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП гиперболического типа.	0.5		Емельянов В.П. Введение в теорию разностных

	применяющихся для моделирования разнообразных процессов при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. 2. Применение метода конечных разностей для уравнений гиперболического типа (на примере волновых уравнений).			схем; уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i> Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf. Гл. 7</i>
Подготовка к лекции № 15	1. Явные методы Эйлера. 2. Метод против потока. Схема Лакса.	0.5		Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем; уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i> Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf. Гл. 7</i>
Подготовка к лекции № 16	1. Неявный метод Эйлера. 2. Методы Лакса-Вендроффа (одношаговый, двухшаговый).	1		Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем; уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i> Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf. Гл. 7</i>
Подготовка к лекции № 17	1. Метод Мак-Кормака. 2. Двухшаговый метод Бима - Уорминга. 3. Методы третьего порядка точности (трехшаговые методы Уорминга, Русанова).	1		Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем; уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i> Жидков Е.П. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf. Гл. 7</i>
Подготовка к практическому занятию № 1-3	Выполнение <u>практической работы</u> на тему: Методы решения гиперболических уравнений (на примере одномерного волнового уравнения первого порядка). Исследование свойств (двух-четырёх предложенных преподавателем) разностных схем (РС) из следующих: РС Эйлера (1-ая и 2-ая). Схема против потока. Схема Лакса. Схема Лакса-Вендроффа. Схема Мак-Кормака. Схема Бима-Уорминга. Схемы 3-го порядка точности. Аппроксимация, согласованность, устойчивость, сходимость РС. Критерии устойчивости. Диссипативные и дисперсионные ошибки. Качественные отличия схем первого и второго порядков точности для этих <u>уравнений</u> .	2		Степанов М.М. Численные методы механики сплошной среды. БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. 2007. 129 с. 71 экз. <i>elr00789 Введение, Гл. 1.</i>
Итого по разделу 5		5 часов		
Раздел 6. ДУЧП параболического типа.				
Подготовка к лекции № 18	1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП параболического типа, применяющихся для <u>моделирования разнообразных процессов</u>	1		Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем; уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006.

	<p>при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники.</p> <p>2. Применение метода конечных разностей для уравнений параболического типа (на примере одномерного уравнения теплопроводности).</p> <p>3. Простой явный метод, простой неявный метод. Их преимущества и недостатки.</p>		<p>191с, 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i></p> <p>Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i></p> <p>Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf.</i></p>
Подготовка к лекции № 19	<p>1. Комбинированные методы. Метод Кранка-Николсона.</p> <p>2. Метод Дюфорта-Франкеля.</p> <p>3. Явный метод переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина).</p>	1	<p>Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с, 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i></p> <p>Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i></p> <p>Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf.</i></p>
Подготовка к лекции № 20	<p>1. Методы решения двумерных уравнений теплопроводности.</p> <p>2. Методы: простой явный, простой неявный. Комбинированный метод. Метод Кранка - Николсона.</p> <p>3. Неявный метод переменных направлений.</p> <p>4. Метод дробных шагов (метод расщепления, метод И.Н. Яненко). Метод классики.</p>	1	<p>Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с, 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i></p> <p>Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <i>sod00232.pdf. Гл. 8,9</i></p> <p>Жидков Е.Н. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <i>sod00561.pdf.</i></p>
Подготовка к практическому занятию № 4-5	<p><u>Выполнение практической работы на тему:</u></p> <p>Методы решения параболических уравнений (на примере одномерного уравнения теплопроводности).</p> <p>Исследование свойств (двух предложенных преподавателем) явных РС из следующих:</p> <p>простой явный метод; явные методы переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина).</p>	1	<p>Степанов М.М. Численные методы механики сплошной среды. БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. 2007. 129 с. 71 экз. <i>elr00789 Введение, Гл 2.</i></p>
Подготовка к практическому занятию № 5-6	<p><u>Выполнение практической работы на тему:</u></p> <p>Методы решения параболических уравнений. (на примере одномерного уравнения теплопроводности).</p> <p>Исследование свойств (двух предложенных преподавателем) неявных РС из следующих:</p> <p>простой неявный метод; метод Кранка-Николсона; комбинированные методы.</p> <p>Сравнение свойств явных и неявных методов.</p> <p>Методы решения систем линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей.</p> <p>Методы прогонки.</p>	1	<p>Степанов М.М. Численные методы механики сплошной среды. БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. 2007. 129 с. 71 экз. <i>elr00789 Введение, Гл 2.</i></p>
<b>Итого по разделу 6</b>		<b>5 часов</b>	
<b>Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.</b>			
Подготовка к лекции № 21	<p>1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП эллиптического типа, применяющиеся для моделирования разнообразных процессов</p>	2	<p>Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006.</p>

	при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. 2. Применение метода конечных разностей для уравнений эллиптического типа (на примере уравнений Лапласа и Пуассона). Итерационные методы. Пятиточечная схема Рунге. Девятиточечная схема высокого порядка.		191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . <i>Гл. 8,9</i> Жидков Е.И. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> .
Подготовка к лекции № 22	1. Принцип установления. 2. Примеры конечноразностных схем для решения двумерного уравнения Лапласа, использующих принцип установления.	1	Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . <i>Гл. 8,9</i> Жидков Е.И. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> .
Подготовка к практическому занятию № 7-8	<b>Практическое занятие № 9.</b> <u>Выполнение практической работы на тему:</u> Методы решения эллиптических уравнений. (на примере двумерного уравнения Лапласа). 1. «Прямой» метод Рунге (схема «крест», метод Либмана). 2. Итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Методы простой итерации и Гаусса-Зейделя. Точность метода. Сходимость метода. Метод «верхней/нижней релаксации».	1	Степанов М.М. Численные методы механики сплошной среды. БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. 2007. 129 с. 71 экз. <a href="#">elr00789</a> <i>Введение, Гл 3.</i>
Подготовка к практическому занятию № 8-9	<u>Выполнение практической работы на тему:</u> Методы решения эллиптических уравнений (на примере двумерного уравнения Лапласа), основанные на применении «принципа установления»; Исследование свойств одной из следующих РС: простой явный метод; метод Яненко П.П.; неявный метод переменных направлений; метод классики и др.	1	Степанов М.М. Численные методы механики сплошной среды. БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб. 2007. 129 с. 71 экз. <a href="#">elr00789</a> <i>Введение, Гл 3.</i>
<b>Итого по разделу 7</b>		<b>5 часов</b>	
<b>Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.</b>			
Подготовка к лекции № 23	Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении: 1. Метод характеристик. 2. Методы сквозного счета (схема Годунова). 3. Метод прямых.	2	Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . <i>Гл. 8,9</i> Жидков Е.И. Вычислительная математика - М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a> .
Подготовка к лекции № 24	Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении: 1. Метод интегральных соотношений Дородницына. 2. Метод Теленина. 3. Метод крупных частиц (Белоцерковского-Давыдова).	1	Емельянов В.И. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i> Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. - 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a> . <i>Гл. 8,9</i>

Подготовка к лекции № 25	<p>4. Метод частиц в ячейках.</p> <p>Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении:</p> <p>1. Метод конечных элементов (объемов).</p> <p>2. Особенности решения ДУЧП с малым параметром при старшей производной. Методы решения "релаксационных" уравнений ("околоравновесная кинетика" – "жесткие" уравнения).</p>	1	<p>Жидков Е.Н. Вычислительная математика – М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a>.</p> <p>Емельянов В.Н. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i></p> <p>Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a>. <i>Гл. 8,9</i></p> <p>Жидков Е.Н. Вычислительная математика – М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a>.</p>
Подготовка к лекции № 26	<p>1. Обзор задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники, в которых применяются данные методы.</p> <p>2. Краткая характеристика программных комплексов Star-CD.</p>	1	<p>Емельянов В.Н. Введение в теорию разностных схем: уч. пособие - БГТУ "ВОЕНМЕХ". - СПб.: 2006. 191с. 56 экз. <i>Гл. 1, 2, 3</i></p> <p>Киреев В.И. Численные методы в примерах и задачах - СПб.: Лань, 2015. 98 экз. <a href="#">sod00232.pdf</a>. <i>Гл. 8,9</i></p> <p>Жидков Е.Н. Вычислительная математика – М.: Академия, 2013. 13 экз. <a href="#">sod00561.pdf</a>.</p>
<b>Итого по разделу 8</b>		<b>5 часов</b>	
<b>Итого по дисциплине</b>		<b>40 часов</b>	



### Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Вид учебных занятий	Организация деятельности студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии. Уделить особое внимание вопросам <i>математического аппарата, составляющего основу моделирования в ракетостроении; принципам и средствам численных методов механики сплошной среды, применяемым при разработке новых образцов ракетной техники; основным свойствам численных методов; значению современных информационных технологий при решении задач математического моделирования в ракетостроении и др.</i>
Практические занятия	Проработка рабочей программы, обращая внимание на цели и задачи, структуру и содержание дисциплины. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Проработка описаний практических работ. Освоение программного комплекса Maple.
Подготовка к дифференцированному зачету	При подготовке к дифференцированному зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, практических заданий, основную и дополнительную литературу и др. Перечень теоретических вопросов к дифференцированному зачету предоставляется преподавателем.

### ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЗАДАНИЙ (по видам СРС)

Курсовая работа, домашние задания структурой дисциплины не предусмотрены.

## ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- список вопросов для составления билетов дифференцированного зачёта и примеры формирования указанных билетов приведены в УМК по дисциплине.
- список вопросов, обсуждаемых на практических занятиях по дисциплине по результатам выполнения заданий, по ответам на которые оцениваются знания по темам, приведены в УМК по дисциплине.
- комплект вариантов практических работ – размещены в составе УМК по дисциплине.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	НОМЕРА РАЗДЕЛОВ	НАИМЕНОВАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ДИДАКТИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ	ВСЕГО	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ В КОНТАКТНОЙ ФОРМЕ				Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция		Наименование оценочного средства
					ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	Аудиторный практикум	Лабораторный практикум		ОК-2	ОПК-2.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	5	1	Раздел 1. Введение.	9	4	4	-	-	5	10%	10%	Вопросы по разделу дисциплины
		2	Раздел 2. Классификация ДУЧП.	9	4	4	-	-	5	10%	10%	Вопросы по разделу дисциплины.
		3	Раздел 3. Основы метода конечных разностей.	15	10	10	-	-	5	20%	20%	Вопросы по разделу дисциплины.
		4	Раздел 4. Свойства разностных схем.	13	8	8	-	-	5	20%	20%	Вопросы по разделу дисциплины.
		5	Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа.	19	14	8	6	-	5	10%	10%	Вопросы по темам практических занятий (ПЗ). Вопросы для дифф. зачёта
		6	Раздел 6. ДУЧП параболического типа.	17	12	6	6	-	5	10%	10%	Вопросы по темам ПЗ. Вопросы для дифф. зачёта
		7	Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.	14	9	4	5	-	5	10%	10%	Вопросы по темам ПЗ. Вопросы для дифф. зачёта
		8	Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.	12	7	7	-	-	5	10%	10%	Вопросы для дифф. зачёта
ВСЕГО ПО ДИСЦИПЛИНЕ				108	68	51	17	-	40	100%	100%	

## Критерии оценивания

Оценивание уровня учебных достижений студента осуществляется в виде текущего, рубежного и промежуточного контроля в соответствии с ПОЛОЖЕНИЕМ о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов БГТУ «ВОЕНМЕХ».

**Текущий контроль** студентов производится в дискретные временные интервалы лектором и преподавателем (ями), ведущими практические занятия по дисциплине в следующих формах:

- защита практических работ;
- отдельно оцениваются личностные качества студента (аккуратность, исполнительность, инициативность) – работа у доски, соблюдение сроков выполнения контрольных мероприятий, установленных графиком.

**Рубежная аттестация** студентов производится по итогам половины семестра в следующих формах:

- защита трех практических работ;

**Промежуточный контроль** по результатам семестра проходит в форме дифференцированного зачета (включает в себя ответы на теоретические вопросы).

## Фонды оценочных средств.

### Практические занятия

**Допуск к выполнению практических работ (ПР)** осуществляется на основе собеседования по вопросам, связанным с целью и задачами выполнения ПР.

**Отчет по практической работе** представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по практическому занятию. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя.

**Критерии оценивания:** в случае если оформление отчета, доклад студента по выполненной работе и ответы на вопросы преподавателя во время защиты соответствуют требованиям, предъявляемым к знаниям студента по данному практическому занятию, отчет по практическому занятию считается принятым.

Основаниями для дополнительной доработки отчета являются:

- небрежное выполнение;
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках).

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов;
- отсутствия необходимого графического материала;
- некорректной обработки результатов.

### Шаблоны отчетов по практическим работам:

**Практическая работа, выполняемая в ходе практического занятия № 1-3 (раздел № 5)**  
«Методы решения гиперболических уравнений (на примере одномерного волнового уравнения первого порядка)»

#### В отчете необходимо представить:

1. Постановку задачи.
2. Математическую модель.
3. Краткую характеристику исследуемых методов
4. Анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. Распечатку полученных результатов.

6. Графики начального положения скачка, промежуточных и конечного его положений для рассматриваемых методов при различных значениях чисел Куранта.

**Контрольные вопросы.**

1. Уравнение гиперболического типа, начальные и граничные условия.
2. Корректно поставленные задачи для уравнений гиперболического типа.
3. Схемы, применяемые в лабораторной работе, их свойства :
  - шаблон;
  - явность и/или неявность;
  - аппроксимация;
  - согласованность;
  - устойчивость;
  - критерии устойчивости;
  - сходимость;
  - численная вязкость;
  - характер получаемых ошибок;
  - дисперсия, диссипация, диффузия;
  - анализ модифицированного уравнения;
  - сравнение с другими схемами.

**Практическая работа, выполняемая в ходе практического занятия № 4-5 (раздел № 6)**  
«Методы решения параболических уравнений (на примере одномерного уравнения теплопроводности)»

**В отчете необходимо представить:**

1. Постановка задачи.
2. Математическая модель.
3. Краткая характеристика исследуемых методов
4. Анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. Распечатка полученных результатов.
6. Графики распределения температуры в стержне в различные промежутки времени для всех рассматриваемых методов при различных значениях чисел  $R$  или  $C$ .

**Контрольные вопросы.**

1. Уравнение параболического типа, начальные и граничные условия.
2. Корректно поставленные задачи для уравнений параболического типа.
3. Схемы, применяемые в лабораторной работе, их свойства :
  - шаблон;
  - явность и/или неявность;
  - аппроксимация;
  - согласованность;
  - устойчивость;
  - критерии устойчивости;
  - сходимость;
  - численная вязкость;
  - характер получаемых ошибок;
  - дисперсия, диссипация, диффузия;
  - анализ модифицированного уравнения;
  - сравнение с другими схемами.

**Практическая работа, выполняемая в ходе практического занятия № 5-6 (раздел № 6)**  
«Методы решения параболических уравнений (на примере одномерного уравнения теплопроводности)»

**В отчете необходимо представить:**

1. Постановка задачи.
2. Математическая модель.
3. Краткая характеристика исследуемых методов
4. Анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. Распечатка полученных результатов.

6. Графики распределения температуры в стержне в различные промежутки времени для всех рассматриваемых методов при различных значениях чисел  $'R'$  или  $'C'$ .

### **Контрольные вопросы**

1. Явные и неявные разностные
2. Схемы, применяемые в лабораторной работе, их свойства:
  - шаблон;
  - явность и/или неявность;
  - аппроксимация;
  - согласованность;
  - устойчивость;
  - критерии устойчивости;
  - сходимости;
  - численная вязкость;
  - характер получаемых ошибок;
  - дисперсия, диссипация, диффузия;
  - анализ модифицированного уравнения;
  - сравнение с другими схемами.

Методы решения СЛАУ. Метод трехточечной прогонки – алгоритм, свойства.

**Практическая работа, выполняемая в ходе практического занятия № 7-8 (раздел № 7)**  
«Методы решения эллиптических уравнений, (на примере двумерного уравнения Лапласа)»

### **В отчете необходимо представить:**

1. Постановка задачи.
2. Математическая модель.
3. Краткая характеристика рассматриваемых методов.
4. Анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. График  $Iter=F(\omega)$ .
6. График  $Iter=F(\epsilon)$ .
7. Примерная картина поля температур (изолиний).

### **Контрольные вопросы.**

1. Уравнение эллиптического типа, краевые условия.
2. Корректно поставленные задачи для уравнений эллиптического типа.
3. Схемы, применяемые в лабораторной работе, их свойства:
  - шаблон;
  - явность и/или неявность;
  - аппроксимация;
  - согласованность;
  - устойчивость;
  - критерии устойчивости;
  - сходимости;
  - характер получаемых ошибок;
  - дисперсия, диссипация, диффузия;
  - анализ модифицированного уравнения;
  - сравнение с другими схемами.

Прямые и итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод Гаусса-Зейделя, метод последовательной верхней релаксации

**Практическая работа, выполняемая в ходе практического занятия № 8-9 (раздел № 7)**  
«Методы решения эллиптических уравнений, (на примере двумерного уравнения Лапласа)»

### **В отчете необходимо представить:**

1. Постановка задачи.
2. Математическая модель.
3. Краткая характеристика рассматриваемых методов.
4. Анализ полученных результатов и соответствующие выводы.
5. График  $Iter=F(\epsilon)$ .
6. Примерная картина поля температур (изолиний).

### Контрольные вопросы.

1. Принцип установления.
2. Корректно поставленные задачи для уравнений эллиптического типа.
3. Схемы, применяемые в лабораторной работе, их свойства:

- наблюд;
- явность и/или неявность;
- аппроксимация;
- согласованность;
- устойчивость;
- критерии устойчивости;
- сходимость;
- характер получаемых ошибок;
- дисперсия, диссипация, диффузия;
- анализ модифицированного уравнения;
- сравнение с другими схемами.

**Промежуточный контроль по результатам семестра**  
проходит в форме дифференцированного зачета (включает в себя ответы на теоретические вопросы).

### **Критерии оценивания:**

**Минимальные требования**, предъявляемые к студенту для положительной оценки знаний на экзамене.

Оценка "Отлично" выставляется студенту, прочно усвоившему программный материал, исчерпывающе, грамотно и логически стройно его излагающему. При этом студент не затрудняется с ответом при видоизменении вопроса, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, показывает знакомство с литературой, правильно обосновывает принятые решения.

Оценка "Хорошо" выставляется студенту, знающему программный материал, грамотно и по существу излагающему его, который не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка "Удовлетворительно" выставляется студенту, который имеет знания только основного материала, но не усвоил деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения последовательности в изложении программного материала.

Оценка "Неудовлетворительно" выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями пытается ответить на вопросы.

### **Примерный перечень вопросов, выносимых на дифференцированный зачет.**

1. Примеры дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных типов и их систем, применяемых при моделировании в авиаконструировании.
2. ДУЧП. «Физическая» классификация.
3. ДУЧП. «Математическая» классификация ДУЧП 2-го порядка функций 2-х переменных.
4. ДУЧП. Понятие характеристик на примере ДУЧП 1-го порядка функций 2-х переменных.
5. ДУЧП. Классификация с помощью характеристик ДУЧП 2-го порядка функций 2-х переменных.
6. ДУЧП. Идея метода конечных разностей
7. ДУЧП. Разностное выражение для частных производных.
8. ДУЧП. Краевые условия. Корректная постановка краевой задачи.
9. ДУЧП. Явные и неявные разностные схемы.
10. ДУЧП. Согласованность, устойчивость, сходимость разностных схем.
11. ДУЧП. Теорема Лакса.
12. ДУЧП. Метод Неймана для анализа устойчивости.
13. ДУЧП. Метод «по потоку» (1-ый метод Эйлера) для ДУЧП гиперболического типа: одномерного волнового уравнения 1-го порядка.
14. ДУЧП. Метод «против потока» для ДУЧП гиперболического типа: одномерного волнового уравнения 1-го порядка.
15. ДУЧП. Модифицированное уравнение метода «против потока» для одномерного волнового уравнения 1-го порядка.



16. ДУЧП. Диссипативные и дисперсионные ошибки.
17. ДУЧП. Амплитудные и фазовые ошибки.
18. ДУЧП. 2-ой метод Эйлера и метод Лакса для решения ДУЧП гиперболического типа: одномерного волнового уравнения 1-го порядка.
19. ДУЧП. Схемы 2-го порядка точности для ДУЧП гиперболического типа: одномерного волнового уравнения 1-го порядка
20. ДУЧП. Особенности решения параболических уравнений. Простой явный, простой неявный методы, метод Кранка-Николсона решения одномерного уравнения теплопроводности.
21. ДУЧП. Комбинированные методы решения одномерного уравнения теплопроводности.
22. ДУЧП. Особенности решения параболических уравнений. Явный метод переменных направлений Саульева, решения одномерного уравнения теплопроводности.
23. ДУЧП. Особенности решения параболических уравнений. Явный метод переменных направлений Барраката-Кларка, решения одномерного уравнения теплопроводности.
24. ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Простой явный метод.
25. ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Простой неявный метод.
26. ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Метод Кранка-Николсона решения двухмерного уравнения теплопроводности.
27. ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Идея метода расщепления. Неявный метод переменных направлений.
28. ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Идея метода расщепления. Метод Н.Н. Яненко решения двухмерного уравнения теплопроводности.
29. ДУЧП. Особенности решения эллиптических уравнений. Метод Рунге для решения уравнения ДУЧП Лапласа.
30. ДУЧП. Особенности решения эллиптических уравнений. Принцип установления. Неявный метод переменных направлений решения ДУЧП Лапласа.
31. ДУЧП. Особенности решения эллиптических уравнений. Принцип установления. Метод Н.Н. Яненко решения ДУЧП Лапласа.

## СПРАВКА

о наличии в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова учебной литературы  
(справка является неотъемлемой частью УМК дисциплины)

1. Наименование дисциплины: «Специальные главы математики»

2. Кафедра: А1 Ракетостроения

3. Перечень основной учебной литературы:

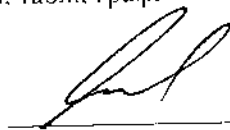
1. **Емельянов, Владислав Николаевич.** Численные методы: введение в теорию разностных систем [Текст] : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Н. Емельянов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2018. - 188 с. : схемы, граф. - (Бакалавр. Академический курс). - Об авт.: с. 2, послед. с. обл. - Библиогр.: с. 184-187. - Предмет. указ.: с. 188. - ISBN 978-5-534-06617-3 : 1 экз.
2. **Емельянов, Владислав Николаевич.** Численные методы: введение в теорию разностных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Н. Емельянов. - 2-е изд., испр. и доп. - Электрон. текстовые дан. - М. : Юрайт, 2020. - 188 с. : схемы, граф. - (ЭБС Юрайт) (Высшее образование). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/453264> (дата обращения: 03.12.2020).
3. **Киреев, Владимир Иванович.** Численные методы в примерах и задачах [Текст] : учебное пособие для вузов / В. И. Киреев, А. В. Пантелеев. - Изд. 4-е, испр. - СПб. : Лань, 2015. - 447 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 441-443. - Задачи для самостоят. решения: в конце глав. - ISBN 978-5-8114-1888-6 : 100 экз.
4. **Киреев, Владимир Иванович.** Численные методы в примерах и задачах [Электронный ресурс] / В. И. Киреев. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2015. - 448 с. - (ЭБС Лань). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/65043> (дата обращения: 03.09.2020).
5. **Жидков, Евгений Николаевич.** Вычислительная математика [Текст] : учебник для вузов / Е. П. Жидков. - 2-е изд., перераб. - М. : Академия, 2013. - 198 с. : граф., табл. - (Высшее профессиональное образование. Естественные науки) (Бакалавриат). - Библиогр.: с. 191-192. - Задачи для самостоят. решения: в конце глав. - Предмет. указ.: с. 193-195. - ISBN 978-5-4468-0222-7 : 15 экз.
6. **Степанов, Михаил Михайлович.** Численные методы механики сплошной среды [Текст] : лабораторный практикум [для вузов] / М. М. Степанов, С. Э. Волосастов, В. И. Семенов : БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2007. - 129 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 92-93. - Контр. вопросы: в конце лаб. раб. - Приложение: с. 94-128 : 74 экз.
7. **Степанов, Михаил Михайлович.** Численные методы механики сплошной среды [Электронный ресурс] : лабораторный практикум [для вузов] / М. М. Степанов, С. Э. Волосастов, В. И. Семенов : БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2007. - 1 эл. жестк. диск : граф., схемы, табл. - Электрон. версия печ. публикации Mib\_server/efres-efr00789.pdf. - Библиогр.: с. 92-93. - Контр. вопросы: в конце лаб. раб. - Приложение: с. 94-128.
8. **Голоскоков, Дмитрий Петрович.** Курс математической физики с использованием пакета Maple [Текст] : учебное пособие для вузов / Д. П. Голоскоков. - Изд. 2-е, испр. - СПб. : Лань, 2015. - 575 с. : граф., схемы, табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Библиогр.: с. 568-569. - Вопросы, задачи, примеры решения задач: в конце глав. - Прил.: с. 566-567. - ISBN 978-5-8114-1854-1 : 45 экз.
9. **Емельянов, Владислав Николаевич.** Введение в теорию разностных схем [Текст] : учебное пособие [для вузов] / В. Н. Емельянов : БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2006. - 191 с. : граф., схемы. - Библиогр.: с. 188. - Приложение: с. 179-187. - Предмет. указ.: с. 189. - ISBN 5-85546-253-6 : 58 экз.

4. Перечень дополнительной литературы:

1. **Зализняк, Виктор Евгеньевич.** Основы вычислительной физики [Текст] : учебное пособие для вузов / В. Е. Зализняк. - М. : Техносфера, 2008. - (Мир физики и техники : П.06). Ч. 1 : Введение в

- конечно-разностные методы. - 2008. - 223 с. : граф., схемы, табл. - Об авторе: послед. с. облож. - Библиогр.: с. 223. - Приложения: с. 201-222. - ISBN 978-5-94836-132-1 : 31 экз.
2. **Волков, Константин Николаевич.** Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа [Текст] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 465 с. : граф., схемы, табл. - Библиогр.: с. 440-465. - Библиогр. в подстроч. прим. - Прил.: с. 425-439. - ISBN 978-5-9221-1438-7 63 экз.
  3. **Волков, Константин Николаевич.** Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа [Электронный ресурс] / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. - Электрон. текстовые дан. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 1 эл. жестк. диск : цв. : граф., схемы, табл. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации \\lib\_server\elres\elr02753.pdf. - Библиогр.: с. 440-465. - Библиогр. в подстроч. прим. - Прил.: с. 427-439. - ISBN 978-5-9221-1438-7 :
  4. **Шапорев, Сергей Дмитриевич.** Методы вычислительной математики и их приложения [Текст] : учебное пособие / С. Д. Шапорев ; ред. Н. К. Золина, Т. Х. Черкасова ; подгот. изд. И. С. Морозова, А. В. Морозов. - СПб. : СММО Пресс, 2003. - 230 с. : табл., ил, граф. - Загл. обл. : Высшая математика. - Библиогр.: с. 228. - В конце глав - лабораторные работы. - ISBN 5-7704-0121-4 : 526 экз.
  5. **Шапорев, Сергей Дмитриевич.** Методы вычислительной математики и их приложения [Электронный ресурс] : учебное пособие [для вузов] / С. Д. Шапорев : БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2002. - 1 эл. жестк. диск : табл., ил, граф. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации e:\elres\fohib\elr00128.pdf. - Библиогр.: с. 227 - 228. - В конце глав - лабораторные работы
  6. **Кирсанов, Михаил Николаевич.** Maple и MapleT. Решения задач механики [Текст] : учебное пособие [для вузов] / М. Н. Кирсанов. - СПб. : Лань, 2020. - 510 с. : граф., обл., схемы, табл. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Об авт.: послед. с. облож. - Библиогр.: с. 491-493. - Прил.: с. 485-490. - Предмет. и имен. указ.: с. 496-510. - ISBN 978-5-8114-1271-6 : 70 экз.
  7. **Кирсанов, Михаил Николаевич.** Maple и MapleT. Решения задач механики [Электронный ресурс] : учебное пособие / М. Н. Кирсанов. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2012. - 512 с. - (ОБС Лань). - Загл. с титул. экрана. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. -- URL: <https://e.lanbook.com/book/3181> (дата обращения: 03.09.2020).
  8. **Рагулина, Марина Ивановна.** Информационные технологии в математике [Текст] : учебное пособие для вузов / М. И. Рагулина ; ред. М. П. Лапчик. - М. : Академия, 2008. - 301 с. : граф., обл., схемы, табл. - (Высшее профессиональное образование. Педагогические специальности). - КОПИРОВАНИЕ ЗАПРЕЩЕНО. - Библиогр.: с. 299. - Контр. вопросы, упражн., тесты, лаб. раб.: в конце глав. - ISBN 978-5-7695-2710-4 3 экз.
  9. **Прохоров, Геннадий.** Пакет символьных вычислений Maple V [Электронный ресурс] / Г. В. Прохоров, М. А. Леденев, В. В. Колбасев. - Электрон. текстовые дан. - [Б. м. : б. и.]. - 1 эл. жестк. диск : граф., схем. - \\lib\_server\elres\elr00314.pdf. - Библиогр.: с. 188. - Список терминов: с. 189-194. - Алфавит. указ.: с. 195-198.
  10. **Лебедев, Михаил Олегович.** Численные методы решения уравнений математической физики [Текст] : учебное пособие [для вузов] / М. О. Лебедев : БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. - СПб. : [б. и.], 2012. - 143 с. : схемы, табл., граф. - Библиогр.: с. 141-142. - ISBN 978-5-85546-688-1 78 экз.

Директор библиотеки



/ Сесина Н.В./

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_ 2020 г.