


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета


Юнаков Л. П.
(подпись) ФИО
« 31 » 05 2022

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

Направление/специальность подготовки	27.05.01 Специальные организационно-технические системы
Специализация/профиль/программа подготовки	Внешнее проектирование и эффективность авиационных и ракетных организационно-технических систем
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	5	4	144	68	51	0	17	76	0	0	76	ЭКЗ.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

27.05.01 Специальные организационно-технические системы

год набора группы: 2022

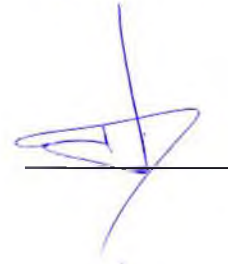
Программу составил:

Кафедра А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ
Степанов Михаил Михайлович, к.т.н., доцент



Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.



Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ

Разделы рабочей программы

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

Приложения к рабочей программе дисциплины

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 — способен формулировать задачи управления в специальных организационно-технических системах и обосновывать методы их решения
ОПК-8 — способен разрабатывать методики и выполнять эксперименты на действующих объектах с обработкой результатов на основе современных информационных технологий и технических средств

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-2

знания:

Студенты должны знать:

на уровне представлений:

- физические и математические модели, необходимые для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
 - численные методы, используемые для проведения расчетов по вышеуказанным моделям. В том числе, численные методы механики сплошной среды;
 - современные программные средства (в том числе программные пакеты), для проведения математических расчетов по вышеуказанным физико-математическим моделям.
- на уровне воспроизведения
- методы и расчетные схемы анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
 - основные способы разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач;
 - способы проведения численных экспериментов для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- на уровне понимания:
- математический аппарат, составляющий основу моделирования специальных организационно-технических;
 - основные свойства численных методов, использующихся при моделировании указанных систем;
 - значения современных информационных технологий при решении задач математического моделирования рассматриваемых систем.;

умения:

Студенты должны уметь:

- теоретические знания использовать для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем. При этом они должны уметь:
- проводить математическое моделирование специальных организационно-технических систем;
 - разрабатывать и применять численные методы для решения отмеченных задач;
 - строить и использовать основные виды математических моделей, используемых для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
 - знать современные методы численной реализации математических моделей, используемых при моделировании специальных организационно-технических систем;
 - практические знания современных методов численной реализации математических моделей использовать для решения конкретных инженерных задач, возникающих при анализе и синтезе специальных организационно-технических систем.;

навыки:

Студенты должны иметь навыки:

- разработки математических моделей, использующихся для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач;
- решения инженерных задач с применением вычислительной техники и современных пакетов вычислительных программ..

ОПК-8

знания:

Студенты должны знать:

на уровне представлений:

- физические и математические модели, необходимые для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- численные методы, используемые для проведения расчетов по вышеуказанным моделям. В том числе, численные методы механики сплошной среды;

- современные программные средства (в том числе программные пакеты), для проведения математических расчетов по вышеуказанным физико-математическим моделям.
- на уровне воспроизведения
- методы и расчетные схемы анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- основные способы разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач;
- способы проведения численных экспериментов для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- на уровне понимания:
- математический аппарат, составляющий основу моделирования специальных организационно-технических;
- основные свойства численных методов, использующихся при моделировании указанных систем;
- значения современных информационных технологий при решении задач математического моделирования рассматриваемых систем.;
- умения:*
- Студенты должны уметь:
- теоретические знания использовать для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем. При этом они должны уметь:
- проводить математическое моделирование специальных организационно-технических систем;
- разрабатывать и применять численные методы для решения отмеченных задач;
- строить и использовать основные виды математических моделей, используемых для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- знать современные методы численной реализации математических моделей, используемых при моделировании специальных организационно-технических систем;
- практические знания современных методов численной реализации математических моделей использовать для решения конкретных инженерных задач, возникающих при анализе и синтезе специальных организационно-технических систем.;
- навыки:*
- Студенты должны иметь навыки:
- разработки математических моделей, использующихся для анализа и синтеза специальных организационно-технических систем;
- разработки и применения численных методов для решения отмеченных задач;
- решения инженерных задач с применением вычислительной техники и современных пакетов вычислительных программ..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 27.05.01 *Специальные организационно-технические системы*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА, ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ РАКЕТНЫХ СИСТЕМ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ, ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, ТЕОРИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — способен анализировать и выявлять естественно-научную сущность проблем управления в технических системах на основе приобретенных знаний
- УК-1 — Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
- УК-6 — способен определять и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 ч.

3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-2	ОПК-8
3	5	Раздел 1. Введение. Дифференциальные уравнения в частных производных (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 тепломассопереноса, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) излучающих газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д. Современные компьютерные технологии и вычислительные методы механики сплошной среды, применяемые при разработке новых образцов авиационной и ракетно-космической техники. Математическое моделирование и численный эксперимент.	10	4	3	1	6	5	5
3	5	Раздел 2. 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.	10	4	3	1	6	10	10
3	5	Раздел 3. 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.	12	6	5	1	6	10	10
3	5	Раздел 4. 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.).	16	10	9	1	6	10	10
3	5	Раздел 5. 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-Коррмака. Двухшаговый метод Бима – Уорминга. Методы третьего порядка точности (трехшаговые методы Уорминга, Русанова).И др.	32	16	12	4	16	20	20
3	5	Раздел 6. 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.	27	12	8	4	15	20	20
3	5	Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа. 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.	27	12	8	4	15	20	20
3	5	Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды. 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 параметров при старшей производной. Методы решения “релаксационных” уравнений (“околоравновесная кинетика” –“жесткие” уравнения). Обзор задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники, в которых применяются данные методы. Краткая характеристика программных комплексов ANSYS, KompasFlow, FlowVision, Star-CD, Solidworks.	10	4	3	1	6	5	5

Всего за 5 семестр	144	68	51	17	76	100	100
Всего по дисциплине	144	68	51	17	76	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение.	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 тепломассопереноса, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) излучающих газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д. Современные компьютерные технологии и вычислительные методы механики сплошной среды, применяемые при разработке новых образцов авиационной и ракетно-космической техники.	1
2	Раздел 2. Классификация ДУЧП.	Классификация ДУЧП (физическая, математическая, с помощью характеристик). Краевые условия (начальные и граничные условия). Корректно поставленные задачи. Метод установления. Модельные уравнения.	1
3	Раздел 3. Основы метода конечных разностей.	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.	1
4	Раздел 4. 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.	1
5	Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа.	Выполнение практической работы на тему: 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 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.	4
6	Раздел 6. ДУЧП параболического типа.	Выполнение практической работы на тему: 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). 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.	4
7	Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.	Выполнение практической работы на тему: 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	4

		эллиптических уравнений (на примере двумерного уравнения Лапласа). Принцип установления. Простой явный метод. Метод Яненко Н.Н. Неявный метод переменных направлений. Метод классики и др.	
8	Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.	Краткая характеристика программных комплексов ANSYS, KompasFlow, FlowVision, Star-CD, Solidworks	1
Всего за 5 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение.	Подготовка к 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 тепломассопереноса, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) излучающих газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д.	3
2		Подготовка к 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.	3
3	Раздел 2. Классификация ДУЧП.	Подготовка к 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).	3
4		Подготовка к лекции. 1. Корректно поставленные задачи. 2. Метод установления. 3. Модельные уравнения. 4. Системы ДУЧП. Классификация систем дифференциальных уравнений в ЧП.	3
5	Раздел 3. Основы метода конечных разностей.	Подготовка к лекции. 1. Дискретизация. Сетки и сеточные функции. 2. Вопросы построения сеток. 3. Разностная аппроксимация производных 4. Точность процессов дискретизации.	2
6		Подготовка к лекции. 1. Понятие о методе конечных разностей. 2. Конечно-разностная аппроксимация ДУЧП 3. Методы построения конечно-разностных схем. 4. Явные и неявные разностные схемы. 5. Принцип расщепления.	2
7		1. Место метода конечных разностей среди других для решения задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. 2. Примеры разностных схем.	2
8	Раздел 4. Свойства разностных схем.	1. Погрешность аппроксимации РС. Согласованность РС. Устойчивость РС. Сходимость РС. 2. Исследование устойчивости РС. Метод Неймана исследования устойчивости РС. 3. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, применённой для решения одномерного уравнения теплопроводности (ДУЧП параболического типа). 4. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости метода против потока, применённого для одномерного волнового уравнения первого порядка (ДУЧП гиперболического типа). 5. Пример использования метода Неймана для исследования	2

		устойчивости простой явной схемы, применённой для решения двухмерного уравнения теплопроводности (многомерные ДУЧП).	
9		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.	2
10		1. Дифференциальное приближение (модифицированное уравнение). Пример вывода дифференциальное приближение (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.).	2
11	Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа.	Подготовка к 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).	3
12		Подготовка к лекции. 1. Явные методы Эйлера. 2. Метод против потока. Схема Лакса.	3
13		Подготовка к лекции. 1. Неявный метод Эйлера. 2. Методы Лакса-Вендроффа (одношаговый, двухшаговый).	3
14		Подготовка к лекции. 1. Метод Мак-Кормака. 2. Двухшаговый метод Бима – Уорминга. 3. Методы третьего порядка точности (трехшаговые методы Уорминга, Русанова).	3
15		Подготовка к практическому занятию. Выполнение практической работы 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 уравнений.	4
16	Раздел 6. ДУЧП параболического типа.	Подготовка к практическому занятию. 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; комбинированные методы; метод Кранка-Николсона; метод Дюфорта-Франкеля и др.	3
17		Подготовка к 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.	3
18		Подготовка к лекции. 1. Комбинированные методы. Метод Кранка-Николсона. 2. Метод Дюфорта-Франкеля. 3. Явный метод переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина).	3
19		Подготовка к 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 Н.Н. Яненко). Метод классики.	3

20		Подготовка к практическому занятию. 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, Бараката-Кларка, Ларкина).	3
21	Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.	Подготовка к лекции. 1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП эллиптического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов 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.	3
22		Подготовка к лекции. 1. Принцип установления. 2. Примеры конечноразностных схем для решения двухмерного уравнения Лапласа, использующих принцип установления.	3
23		Подготовка к практическому занятию. 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-Зайделя. Точность метода. Сходимость метода. Метод «верхней/нижней релаксации».	4
24		Подготовка к практическому занятию. Выполнение практической работы на тему: 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 Н.Н.; неявный метод переменных направлений; метод классики и др.	5
25	Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.	Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении: Подготовка к лекции. 1. Метод характеристик. 2. Метод сквозного счета (схема Годунова). 3. Метод прямых. 4. Метод интегральных соотношений Дородницына. 5. Метод Теленина.	2
26		Подготовка к лекции. Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении: 1. Метод крупных частиц (Белоцерковского-Давыдова). 2. Метод частиц в ячейках 3. Метод конечных элементов (объемов). 4. Особенности решения ДУЧП с малым параметров при старшей производной. Методы решения “релаксационных” уравнений (“околоравновесная кинетика” – “жесткие” уравнения).	2
27		Подготовка к лекции. 1. Обзор задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники, в которых применяются данные методы. 2. Краткая характеристика программных комплексов ANSYS, KompasFlow, FlowVision, Star-CD, Solidworks	2
Всего за 5 семестр			76

4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
5			ТекК		ТекК, ВПЗ	ДР				ДР						ДР	ВПЗ

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- ВПЗ – вопросы/задания по темам ПЗ.

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- вопросы/задания по темам ПЗ.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Самарский. . Введение в численные методы. СПб.: Лань, 2005, 6 экз.
2. А. А. Самарский. . Теория разностных схем. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983, 13 экз.
3. А. А. Самарский, А. В. Гулин. . Численные методы. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989, 9 экз.
4. А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. . ANSYS для инженеров. М.: Машиностроение-1, 2004, эл. рес.
5. А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020, 42 экз.
6. В. И. Киреев. . Численные методы в примерах и задачах. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
7. В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, 54 экз.
8. В. Н. Емельянов, С. О. Здравонин, С. С. Краев. . ANSYS-практикум. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
9. Е. Н. Жидков. . Вычислительная математика. М.: Академия, 2013, 15 экз.
10. Н. Дударева, С. Загайко . . SolidWorks 2011 на примерах. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011, эл. рес.
11. Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. Численные методы. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987, 17 экз.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

1. Естественные и технические науки.

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://urait.ru/>; — Ошибка 404. Эта страница сейчас недоступна — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
2. <https://e.lanbook.com/>; — ЭБС Лань;
3. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система.

Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Лекционные занятия:

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

6.2. Практические занятия:

1. Проектор.

6.3. Прочее:

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

Аннотация рабочей программы

Дисциплина **ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *27.05.01 Специальные организационно-технические системы*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-2 способен формулировать задачи управления в специальных организационно-технических системах и обосновывать методы их решения;

ОПК-8 способен разрабатывать методики и выполнять эксперименты на действующих объектах с обработкой результатов на основе современных информационных технологий и технических средств.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с методами решения инженерных задач, возникающих в ходе анализа и синтеза специальных организационно-технических систем, с применением вычислительной техники.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

Текущий контроль успеваемости студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы для текущего контроля;
- вопросы/задания по темам ПЗ.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**51 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 ч., 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 текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Введение.		
Подготовка к 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 тепломассопереноса, расчета плазменных течений, использующихся в динамике разреженных газов или (и) излучающих газов, при расчете многофазных потоков, электромагнитных явлений и т.д.	А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (Гл. 1.) А. А. Самарский, А. В. Гулин. . Численные методы: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989 (Гл. 1.) В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 1.)	3
Подготовка к 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.	Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 1.)	3
Итого по разделу 1		6
Раздел 2. Классификация ДУЧП.		
Подготовка к 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).	А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (Гл. 1-2.) Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков. Численные методы: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 (Гл. 2.) В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 1-2.) А. А. Самарский. . Теория разностных	3
Подготовка к лекции. 1. Корректно поставленные задачи. 2. Метод установления. 3. Модельные уравнения. 4. Системы ДУЧП. Классификация систем дифференциальных уравнений в ЧП.	В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 1-2.) А. А. Самарский. . Теория разностных	3

	схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (Гл. 2.)	
Итого по разделу 2		6
Раздел 3. Основы метода конечных разностей.		
Подготовка к лекции. 1. Дискретизация. Сетки и сеточные функции. 2. Вопросы построения сеток. 3. Разностная аппроксимация производных 4. Точность процессов дискретизации.	В. И. Киреев. . Численные методы в примерах и задачах: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (Гл.3.) А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (Гл.2.)	2
Подготовка к лекции. 1. Понятие о методе конечных разностей. 2. Конечно-разностная аппроксимация ДУЧП 3. Методы построения конечно-разностных схем. 4. Явные и неявные разностные схемы. 5. Принцип расщепления.	А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (Гл.2-3.) Е. Н. Жидков. . Вычислительная математика: М.: Академия, 2013 (Гл.2.)	2
1. Место метода конечных разностей среди других для решения задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники. 2. Примеры разностных схем.	В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл.1-2.)	2
Итого по разделу 3		6
Раздел 4. Свойства разностных схем.		
1. Погрешность аппроксимации РС. Согласованность РС. Устойчивость РС. Сходимость РС. 2. Исследование устойчивости РС. Метод Неймана исследования устойчивости РС. 3. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, применённой для решения одномерного уравнения теплопроводности (ДУЧП параболического типа). 4. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости метода против потока, применённого для одномерного волнового уравнения первого порядка (ДУЧП гиперболического типа). 5. Пример использования метода Неймана для исследования устойчивости простой явной схемы, применённой для решения двухмерного уравнения теплопроводности (многомерные ДУЧП).	А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (Гл. 2-3.) В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 2.)	2
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.	А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (Гл.3.) Е. Н. Жидков. . Вычислительная математика: М.: Академия, 2013 (Гл. 3.)	2
1. Дифференциальное приближение (модифицированное уравнение). Пример вывода дифференциальное приближение (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.).	В. И. Киреев. . Численные методы в примерах и задачах: Санкт-	2

	Петербург: Лань, 2022 (Гл. 2.)	
Итого по разделу 4		6
Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа.		
Подготовка к 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).	Е. Н. Жидков. . Вычислительная математика: М.: Академия, 2013 (Гл. 3-4.) В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ	3
Подготовка к лекции. 1. Явные методы Эйлера. 2. Метод против потока. Схема Лакса.	"ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 2.)	3
Подготовка к лекции. 1. Неявный метод Эйлера. 2. Методы Лакса-Вендроффа (одношаговый, двухшаговый).	А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (Гл. 3.)	3
Подготовка к лекции. 1. Метод Мак-Кормака. 2. Двухшаговый метод Бима – Уорминга. 3. Методы третьего порядка точности (трехшаговые методы Уорминга, Русанова).	А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (Гл. 2-3.) В. И. Киреев. . Численные методы в примерах и задачах: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (Гл. 1-3.)	4
Подготовка к практическому занятию. 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.		
Итого по разделу 5		16
Раздел 6. ДУЧП параболического типа.		
Подготовка к практическому занятию. 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; комбинированные методы; метод Кранка-Николсона; метод Дюфорта-Франкеля и др.	А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (Гл. 4.) В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ	3
Подготовка к 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.	"ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 3.) А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (Гл. 3-4.) Е. Н. Жидков. . Вычислительная математика: М.: Академия, 2013 (Гл. 3.)	3
Подготовка к лекции. 1. Комбинированные методы. Метод Кранка-Николсона. 2. Метод Дюфорта-Франкеля. 3. Явный метод переменных направлений (методы Саульева, Барраката-Кларка, Ларкина).	В. И. Киреев. . Численные методы в примерах и задачах: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (Гл. 2-3.)	3
Подготовка к 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 Н.Н. Яненко). Метод классики.		3
Подготовка к практическому занятию. Выполнение практической работы на тему: Методы решения параболических уравнений (на примере одномерного уравнения теплопроводности). Исследование свойств (двух – предложенных преподавателем)		3

явных РС из следующих: простой явный метод; явные методы переменных направлений (методы Саульева, Бараката-Кларка, Ларкина).		
Итого по разделу 6		15
Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.		
Подготовка к лекции. 1. Примеры ДУЧП и систем ДУЧП эллиптического типа, применяющихся для моделирования разнообразных процессов 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.	В. Н. Емельянов. . Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (Гл. 4.)	3
Подготовка к лекции. 1. Принцип установления. 2. Примеры конечноразностных схем для решения двухмерного уравнения Лапласа, использующих принцип установления.	А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (Гл. 5.)	3
Подготовка к практическому занятию. 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».	В. И. Киреев. . Численные методы в примерах и задачах: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (Гл. 3-4.)	4
Подготовка к практическому занятию. Выполнение практической работы на тему: 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 Н.Н.; неявный метод переменных направлений; метод классики и др.	Е. Н. Жидков. . Вычислительная математика: М.: Академия, 2013 (Гл. 4.)	5
Итого по разделу 7		15
Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.		
Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении: Подготовка к лекции. 1. Метод характеристик. 2. Методы сквозного счета (схема Годунова). 3. Метод прямых. 4. Метод интегральных соотношений Дородницына. 5. Метод Теленина.	В. Н. Емельянов, С. О. Здравовин, С. С. Краев. . ANSYS-практикум: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (Гл.5.)	2
Подготовка к лекции. Введение в некоторые специальные методы, применяемые для проведения численных экспериментов в авиаракетостроении: 1. Метод крупных частиц (Белоцерковского-Давыдова). 2. Метод частиц в ячейках 3. Метод конечных элементов (объемов). 4. Особенности решения ДУЧП с малым параметром при старшей производной. Методы решения "релаксационных" уравнений ("околоравновесная кинетика" – "жесткие" уравнения).	А. С. Павлов. . Решение задач механики деформируемого твёрдого тела в программе ANSYS: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2020 (Гл. 5.)	2
Подготовка к лекции. 1. Обзор задач, возникающих при разработке новых образцов авиаракетной и космической техники, в которых применяются данные методы. 2. Краткая характеристика программных комплексов ANSYS, KompasFlow, FlowVision, Star-CD, Solidworks	Н. Дударева, С. Загайко . . SolidWorks 2011 на примерах: Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2011 (Гл. 4-6.) А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. . ANSYS для инженеров: М.:	2

	Машиностроение-1, 2004 (Гл. 4-6.)	
Итого по разделу 8		6

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы для текущего контроля;
- вопросы/задания по темам ПЗ;
- экзамен.

Критерии оценивания

Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

Вопросы для текущего контроля

Текущий контроль.

Контрольные мероприятия проводятся в виде вопросов по соответствующим темам после прослушивания раздела дисциплины. Студент заранее извещается о дате проведения мероприятия и его теме. Студенту сообщается перечень вопросов, на которые он должен будет дать правильный ответ. Для принятия темы студент должен дать правильный ответ на не менее 50% заданных вопросов (количество задаваемых вопросов 3-5 в зависимости от темы). Примерный перечень соответствующих вопросов приведен ниже.

Примерный перечень задаваемых вопросов

1. Примеры дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных типов и их систем, применяемых при моделировании в авиаракетостроении.
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. Просто неявный метод,
- 26.ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Метод Кранка-Николсона решения двумерного 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 двумерного 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.

Вопросы/задания по темам ПЗ

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.

ПЗ считается принятым при выполнении следующих критериев: - правильность результатов расчета; - правильность выполнения графической части задания; - правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов); - допускаются незначительные исправления в отчете. ПЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: - ошибок в расчетах и при оформлении графического материала; - небрежного и безграмотного оформления отчета.

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.

ПЗ считается принятым при выполнении следующих критериев: - правильность результатов расчета; - правильность выполнения графической части задания; - правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов); - допускаются незначительные исправления в отчете. ПЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: - ошибок в расчетах и при оформлении графического материала; - небрежного и безграмотного оформления отчета.

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 с
2. 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.
3. Методы решения СЛАУ. Метод трехточечной прогонки – алгоритм, свойства.

ПЗ считается принятым при выполнении следующих критериев: - правильность результатов расчета; - правильность выполнения графической части задания; - правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов); - допускаются незначительные исправления в отчете. ПЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: - ошибок в расчетах и при оформлении графического материала; - небрежного и безграмотного оформления отчета.

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;
 - сходимость;
 - характер получаемых ошибок;
 - дисперсия, диссипация, диффузия;
 - анализ модифицированного уравнения;
 - сравнение с другими схемами.
4. Прямые и итерационные методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Метод Гаусса-Зайделя, метод последовательной верхней релаксации
 ПЗ считается принятым при выполнении следующих критериев: - правильность результатов расчета; - правильность выполнения графической части задания; - правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов); - допускаются незначительные исправления в отчете. ПЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: - ошибок в расчетах и при оформлении графического материала; - небрежного и безграмотного оформления отчета.

ПЗ считается принятым при выполнении следующих критериев: - правильность результатов расчета; - правильность выполнения графической части задания; - правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов); - допускаются незначительные исправления в отчете. ПЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: - ошибок в расчетах и при оформлении графического материала; - небрежного и безграмотного оформления отчета.

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

ПЗ считается принятым при выполнении следующих критериев: - правильность результатов расчета; -

правильность выполнения графической части задания; - правильность оформления отчета (структурная упорядоченность, наличие всех необходимых разделов); - допускаются незначительные исправления в отчете. ПЗ не может быть принято и подлежит доработке в случае: - ошибок в расчетах и при оформлении графического материала; - небрежного и безграмотного оформления отчета.

Экзамен

Обучающийся имеет право на получение минимальной положительной оценки при условии успешного прохождения текущего контроля успеваемости в форме диагностической работы в соответствии с графиком раздела 4.

Допуском к экзамену является успешное прохождение текущего контроля и сдача практических работ.

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 экзамен.

1. Примеры дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП) различных типов и их систем, применяемых при моделировании в авиаракетостроении.
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, сходимости 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. Просто неявный метод.
- 26.ДУЧП. Особенности решения многомерных параболических уравнений. Метод Кранка-Николсона решения двумерного 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 двумерного 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.

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-2	ОПК-8	
3	5	Раздел 1. Введение.	10	4	3	1	6	5	5	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 2. Классификация ДУЧП.	10	4	3	1	6	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 3. Основы метода конечных разностей.	12	6	5	1	6	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 4. Свойства разностных схем.	16	10	9	1	6	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	5	Раздел 5. ДУЧП гиперболического типа.	32	16	12	4	16	20	20	Вопросы для текущего контроля, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	5	Раздел 6. ДУЧП параболического типа.	27	12	8	4	15	20	20	Вопросы для текущего контроля, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	5	Раздел 7. ДУЧП эллиптического типа.	27	12	8	4	15	20	20	Вопросы для текущего контроля, Вопросы/ задания по темам ПЗ
3	5	Раздел 8. Обзор численных методов механики сплошной среды.	10	4	3	1	6	5	5	Вопросы для текущего контроля
Всего за 5 семестр			144	68	51	17	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	51	17	76	100	100	