

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

 (подпись) Юнаков Л. П.
 ФИО
 «___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ РАЗНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Направление/специальность подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Авиационная и ракетно-космическая теплотехника
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

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	6	3	108	51	34	0	17	57	0	0	57	зач.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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

24.03.05 Двигатели летательных аппаратов

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Федосенко Надежда Борисовна, старший преподаватель

Программа рассмотрена
на заседании кафедры-разработчика
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

Программа рассмотрена
на заседании выпускающей кафедры

А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ РАЗНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

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:

ПСК-1.4 — способность проводить анализ тепловых и газодинамических процессов с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования
ОПК-1 — способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
ОПК-8 — способность разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ПСК-1.4

знания:

современные пакеты для проведения математических расчетов;

умения:

использовать теоретические знания для решения конкретных практических задач, грамотно выбирать метод и параметры численного решения, получать результат требуемой точности;

навыки:

разработки и применения численных методов.

ОПК-1

знания:

физические и математические модели, описывающие некоторые процессы, происходящие при эксплуатации в изделиях теплоэнергетики и ракетно-космической техники;;

умения:

использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении естественнонаучных дисциплин;

навыки:

разработки математических моделей, описывающих функционирование изделий теплоэнергетики и РКТ при эксплуатации.

ОПК-8

знания:

численные методы, используемые для проведения расчетов;

умения:

строить математические модели физических явлений;

навыки:

решения инженерных задач с применением вычислительной техники и современных пакетов вычислительных программ.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **РАЗНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ДИНАМИКА ВЯЗКИХ ЖИДКОСТИ, ГАЗА И СТРУЙ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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		ПСК-1.4	ОПК-1	ОПК-8
3	6	Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП). Классификация ДУЧП. Модельные уравнения. Постановка краевых задач для ДУЧП.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 2. Корректность краевой задачи. О корректной постановке задач газовой динамики. Принцип установления.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 3. Системы уравнений, используемые в численных методах. Модельные уравнения.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 4. Элементы метода сеток. Сетки и сеточные функции. Разностная аппроксимация пространственных дифференциальных операторов. Явные и неявные разностные схемы.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 5. Свойства разностных схем. Консервативность. Сходимость. Аппроксимация. Устойчивость. Согласованность. Точность. Экономичность. Связь между ними.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 6. Устойчивость разностных схем. Спектральный признак устойчивости. Анализ устойчивости для уравнения диффузии. Устойчивость по начальным данным для уравнения переноса. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (КФЛ). Схемы бегущего счета.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 7. Методы решения сеточных уравнений. Метод прогонки.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 8. Разностные схемы для двумерных задач. Явные и неявные. Схемы расщепления, продольно-поперечной прогонки, предиктор-корректор.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 9. Разностные схемы для уравнения Пуассона. Прямой и итерационный методы. Аппроксимация граничных условий.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 10. Разностные схемы для уравнения переноса вихря. Диффузия на разностной сетке. Схемная вязкость. Граничные условия для вихря скорости. Расчет давления и температуры. Общая схема расчета течения вязкой жид-кости.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 11. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа. Схемы с явной и неявной искусственной вязкостью.	7	3	2	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 12. Метод "распада разрывов". Разностная схема для уравнения акустики.	9	5	4	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 13. Криволинейные согласованные с границами области сетки. Принцип построения и использования, свойства. Уравнения газовой динамики, записанные в криволинейных координатах.	9	5	4	1	4	7	7	7
3	6	Раздел 14. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка. Связь метода конечного объема с конечно-разностным методом.	13	8	4	4	5	9	9	9
Всего за 6 семестр			108	51	34	17	57	100	100	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП).	Исследование явных разностных схем для простейшего гиперболического уравнения.	1
2	Раздел 2. Корректность краевой задачи.	Расчетная работа № 2. Исследование устойчивости явной разностной схемы (на примере первой краевой задачи для уравнения одномерной нестационарной теплопроводности)	1
3	Раздел 3. Системы уравнений, используемые в численных методах.	Расчетная работа № 3. Расчет теплового состояния тела с помощью неявной разностной схемы.	1
4	Раздел 4. Элементы метода сеток.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
5	Раздел 5. Свойства разностных схем.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в	1

		прямоугольной области.	
6	Раздел 6. Устойчивость разностных схем.	Расчетная работа № 3. Расчет теплового состояния тела с помощью неявной разностной схемы.	1
7	Раздел 7. Методы решения сеточных уравнений.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
8	Раздел 8. Разностные схемы для двумерных задач.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
9	Раздел 9. Разностные схемы для уравнения Пуассона.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
10	Раздел 10. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.	Расчетная работа № 5. Разностное решение уравнений Навье-Стокса в переменных функция тока-вихрь скорости.	1
11	Раздел 11. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.	Расчетная работа № 6. Построение криволинейных, согласованных с границами области разностных сеток.	1
12	Раздел 12. Метод "распада разрывов".	Расчетная работа № 6. Построение криволинейных, согласованных с границами области разностных сеток.	1
13	Раздел 13. Криволинейные согласованные с границами области сетки.	Расчетная работа № 7. Решение задачи обтекания профиля крыла на криволинейной, согласованной с границами сетке. Проведение вычислительного эксперимента по определению аэродинамических характеристик профиля.	1
14	Раздел 14. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка.	Расчетная работа № 7. Решение задачи обтекания профиля крыла на криволинейной, согласованной с границами сетке. Проведение вычислительного эксперимента по определению аэродинамических характеристик профиля.	4
Всего за 6 семестр			17

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП).	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
2	Раздел 2. Корректность краевой задачи.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
3	Раздел 3. Системы уравнений, используемые в численных методах.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
4	Раздел 4. Элементы метода сеток.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
5	Раздел 5. Свойства разностных схем.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
6	Раздел 6. Устойчивость разностных схем.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
7	Раздел 7. Методы решения сеточных уравнений.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
8	Раздел 8. Разностные схемы для двумерных задач.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
9	Раздел 9. Разностные схемы для уравнения Пуассона.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
10	Раздел 10. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
11	Раздел 11. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
12	Раздел 12. Метод "распада разрывов".	Изучение дидактических единиц данного раздела	4

13	Раздел 13. Криволинейные согласованные с границами области сетки.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
14	Раздел 14. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка.	Изучение дидактических единиц данного раздела	5
Всего за 6 семестр			57

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
6				Отч. по ПЗ	ТекК	ДР	ТекК	Отч. по ПЗ		ДР	ТекК	Отч. по ПЗ		ТекК	Отч. по ПЗ	ДР	зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- ТекК – вопросы для текущего контроля;
- зач. – зачет.

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- вопросы для текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. Н. Емельянов. Введение в теорию разностных схем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, 54 экз.
2. В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Динамика вязкой жидкости. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
3. В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991, 74 экз.
4. Н. А. Брыков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Динамика вязкой жидкости. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 16 экз.
5. О. К. Овчинникова, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Вычислительная математика в задачах аэрокосмической техники. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022, 18 экз.
6. О. К. Овчинникова, Н. В. Тарасова. . Методы вычислительного моделирования. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.

5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <https://urait.ru> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
2. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань.

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:

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

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 **РАЗНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1.4 способность проводить анализ тепловых и газодинамических процессов с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования;

ОПК-1 способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности;

ОПК-8 способность разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с вычислительными методами для численного решения задач расчета сопротивления и теплопереноса, внутренних и внешних задач механики газа и жидкости.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- отчет по практическому заданию;
- вопросы для текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в формах:

- зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**57 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 51 ч. аудиторных занятий, и 57 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. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП).		
Изучение дидактических единиц данного раздела	О. К. Овчинникова, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Вычислительная математика в задачах аэрокосмической техники: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1) В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1)	4
Итого по разделу 1		4
Раздел 2. Корректность краевой задачи.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1)	4
Итого по разделу 2		4
Раздел 3. Системы уравнений, используемые в численных методах.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1) О. К. Овчинникова, Н. В. Тарасова. . Методы вычислительного моделирования: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2)	4
Итого по разделу 3		4
Раздел 4. Элементы метода сеток.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1) О. К. Овчинникова, Н. В. Тарасова. . Методы вычислительного моделирования: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (2)	4
Итого по разделу 4		4
Раздел 5. Свойства разностных схем.		
Изучение дидактических единиц	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные	4

данного раздела	методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1)	
Итого по разделу 5		4
Раздел 6. Устойчивость разностных схем.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1)	4
Итого по разделу 6		4
Раздел 7. Методы решения сеточных уравнений.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов. Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2)	4
Итого по разделу 7		4
Раздел 8. Разностные схемы для двумерных задач.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1)	4
Итого по разделу 8		4
Раздел 9. Разностные схемы для уравнения Пуассона.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (2)	4
Итого по разделу 9		4
Раздел 10. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1)	4
Итого по разделу 10		4
Раздел 11. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, В. А. Анисимов, И. В. Тетерина. . Динамика вязкой жидкости: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (3)	4
Итого по разделу 11		4
Раздел 12. Метод "распада разрывов".		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (3)	4
Итого по разделу 12		4
Раздел 13. Криволинейные согласованные с границами области сетки.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	Н. А. Брыков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Динамика вязкой жидкости: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1)	4
Итого по разделу 13		4

Раздел 14. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка.		
Изучение дидактических единиц данного раздела	В. Н. Емельянов, О. В. Мясоедова ; Ленингр. мех. ин-т, Ленингр. центр механ. и матем. при Ассоциации советских геомехаников. Разностное моделирование течений газа и жидкости. Ч. 1 Введение в основные методы вычислительной гидрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (4)	5
Итого по разделу 14		5

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- отчет по практическому заданию;
- вопросы для текущего контроля;
- зачет.

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.

Отчет по практическому заданию

Отчет по практическому заданию должен содержать постановку задачи, краткие сведения из теории и результаты расчетов.

Варианты практических заданий представлены в УМК дисциплины.

Вопросы для текущего контроля

1. Дать классификацию дифференциальным уравнениям в частных производных (ДУЧП).
2. Что такое модельные уравнения и для чего их изучают?
3. Как ставятся краевые задачи для ДУЧП разных типов?
4. Что такое корректность краевой задачи.
5. Как корректно поставить граничные условия для задач газовой динамики.
6. Что такое принцип установления?
7. Дать определение сетки, сеточной функции, конечно-разностной схемы.
8. Разностная аппроксимация пространственных дифференциальных операторов. Уметь получать и использовать конечно-разностные аналоги дифференциальных операторов с разной точностью.
9. Явные и неявные разностные схемы достоинства и недостатки.
10. Дать определение свойств конечно-разностных схем:
 1. Консервативность.
 2. Сходимость.
 3. Аппроксимация.
 4. Устойчивость.
 5. Согласованность.
 6. Точность.
 7. Экономичность.
8. Какая связь между ними?
11. Методы исследования устойчивости разностных схем.
 1. Спектральный признак устойчивости.
 2. Анализ устойчивости с помощью первого диф. приближения.
 3. Устойчивость по начальным данным для уравнения переноса.
 4. Устойчивость для уравнения диффузии.
 5. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (КФЛ).
 6. Что такое схемы бегущего счета? Охарактеризовать на примерах.
12. Метод скалярной прогонки для решения сеточных уравнений.
13. Что такое схемы расщепления? (для двумерных задач параболического типа)
14. Охарактеризовать метод продольно-поперечной прогонки, предиктор-корректор.
15. Разностные схемы для трехмерных задач.
16. Разностные схемы для уравнения Пуассона и методы их численного решения.
17. Охарактеризовать прямой метод для численного решения уравнения Пуассона.
18. Охарактеризовать итерационные методы для численного решения уравнения Пуассона. Сравнить их с точки зрения сходимости и экономичности.
19. Способы аппроксимации граничных условий.
20. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.

21. Диффузия на разностной сетке. Схемная вязкость.
22. Граничные условия для вихря скорости.
23. Расчет давления и температуры при решении задач в переменных функция тока-вихрь скорости.
24. Общая схема расчета течения вязкой жидкости.
25. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа. Схемы с явной и неявной искусственной вязкостью. Как они получаются? В чем особенности их применения?
26. Метод "распада разрывов". Разностная схема для уравнения акустики.
27. Криволинейные согласованные с границами области сетки: принцип построения и использования, свойства, достоинства и недостатки.
28. Уравнения газовой динамики, записанные в криволинейных координатах
29. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка. Принцип использования. Его достоинства. Связь метода конечного объема с конечно-разностным методом.

Зачет

Зачет проводится в форме устного собеседования по двум вопросам текущего контроля. К зачету требуется предоставить отчеты по практическим заданиям.

Применяется следующая оценка результатов:

- правильный ответ на два вопроса - зачтено;
- правильный ответ на один вопрос + правильные ответы на дополнительные вопросы - зачтено;
- нет правильных ответов ни на один вопрос - не зачтено.

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		ПСК-1.4	ОПК-1	ОПК-8	
3	6	Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП).	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 2. Корректность краевой задачи.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 3. Системы уравнений, используемые в численных методах.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 4. Элементы метода сеток.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 5. Свойства разностных схем.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 6. Устойчивость разностных схем.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 7. Методы решения сеточных уравнений.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию

3	6	Раздел 8. Разностные схемы для двумерных задач.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 9. Разностные схемы для уравнения Пуассона.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 10. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 11. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.	7	3	2	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 12. Метод "распада разрывов".	9	5	4	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 13. Криволинейные согласованные с границами области сетки.	9	5	4	1	4	7	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 14. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка.	13	8	4	4	5	9	9	9	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
Всего за 6 семестр			108	51	34	17	57	100	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	100	

Критерии оценивания

ПСК-1.4

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 В чем преимущества явных разностных схем?
- № 2 Сформулируйте признак устойчивости разностной схемы, называемый условием устойчивости
- Куранта-Фридрихса-Леви.
- № 3 чем состоит суть метода "распада разрывов"?
- № 4 Из каких этапов состоит метод прогонки?
- № 5 В чем состоит суть метода расщепления?
- № 6 Кратко опишите принцип построения итерационных методов.
- № 7 В чем состоит сущность методов релаксации?
- № 8 В чем состоит граничное условие первого рода?
- № 9 В чем состоит граничное условие второго рода?
- № 10 В чем состоит граничное условие третьего рода?
- Вопросы закрытого типа:*
- № 1 Для создания матрицы с нулевыми элементами служит встроенная функция
- A- null
- Б- zeros
- В- ones
- Г- linspace
- № 2 Встроенные функции MatLab, позволяющие формировать массивы определенного вида
- (такие, как zeros, ones, eye и т.д.), могут принимать два аргумента, причем...
- A- первым аргументом задается число столбцов, а вторым –
число строк формируемой матрицы
- Б- первым аргументом задается число строк, а вторым –
число столбцов формируемой матрицы
- В- первым аргументом задается число элементов, а вторым –
число строк формируемой матрицы
- Г- зависит от конкретной функции
- № 3 Какие из систем являются свободными аналогами MATLAB?
- A- Octave
- Б- Scilab
- В- Maple
- Г- Mathcad
- № 4 Назовите схему, для которой необходимо решить совместно систему
алгебраических линейных уравнений, размерность которой равна количеству

внутренних узлов области

А- явная

Б- неявная

В- краевая

Г- обратная

№ 5 Верно ли утверждение, что под сходимостью решения понимается стремление решения

конечно-разностного аналога уравнения в частных производных к решению исходного

уравнения при измельчении сетки?

№ 6 Верна ли приведена формулировка теоремы Лакса об эквивалентности:

"Необходимым и достаточным условием сходимости разностной схемы для решения

корректно поставленной задачи с начальными данными для линейного уравнения

в частных производных является выполнение условий согласованности и устойчивости".

№ 7 Верно ли формулировка обобщенного закона сохранения:

изменение некоторой сохраняемой величины, связанной с выделенной порцией сплошной

среды, происходит за счет потока, приносящего через границы материального объема

эту субстанцию внутрь объема, и за счет источников, действующих внутри объема.
№ 8 Сеточной функцией называется

А- множество значений решения конечно-разностного аналога в узлах разностной сетки

Б- множество значений решения исходного дифференциального уравнения в узлах разностной сетки

В- множество значений решения конечно-разностного уравнения во всей области изменения непрерывных аргументов

Г- непрерывное распределение функции в области решения

№ 9 Если задача разрешима при любых допустимых исходных данных в случае, когда имеется

единственное решение и это решение непрерывно зависит от входных данных,

т.е. малому их изменению соответствует малое изменение решения, то...

А- Задача поставлена корректно и решение является устойчивым

- Б- Решение задачи является устойчивым
- В- Задача поставлена корректно
- Г- Задача поставлена некорректно
- № 10 Для построения двумерных графиков в линейном масштабе используется функция

А- bar

Б- plot

В- subplot

Г- surf

ОПК-1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Как называется раздел математики изучающий линейные уравнения второго порядка с двумя независимыми переменными?
- № 2 Чем определяется порядок дифференциального уравнения?
- № 3 Какие уравнения называют квазилинейными?
- № 4 К какому типу принадлежит уравнение с переменными коэффициентами?
- № 5 Что представляет собой инвариантность характеристических направлений?
- № 6 Сформулируйте физический смысл характеристик.
- № 7 Какие три основных типа уравнений математической физики?
- № 8 Что нужно задать в постановке краевых задач для уравнений с частными производными

кроме самого уравнения?

- № 9 Какая краевая задача называется корректно поставленной?

- № 10 Опишите принцип установления в численных методах.

Вопросы закрытого типа:

- № 1 Численный метод предполагает решение в бесконечном цикле итераций.

Когда следует прервать процесс вычисления?

А-в момент, когда решение будет меняться от итерации к итерации менее чем на 1%

Б-когда будет достигнута заданная степень точности

В-в случае если решение начнет расти

Г-при достижении точного решения

- № 2 Для чего могут применяться результаты проверки адекватности математической модели

и реального объекта?

А-только для корректировки математической модели

Б-только для решения вопроса о применимости построенной математической модели

В-для корректировки математической модели или для решения вопроса о применимости

построенной математической модели

- № 3 Г-нет правильного ответа
Триада моделирования
- А-Модель – Алгоритм – Программа
Б-Эксперимент – Модель – Программа
В-Алгоритм – Программа – Эксперимент
- № 4 Г-Модель – Эксперимент – Программа
Что такое математическая модель?
- А-точное представление реальных объектов, процессов или систем, выраженное в математических терминах и сохраняющее существенные черты оригинала
Б-точное представление реальных объектов, процессов или систем, выраженное в физических терминах и сохраняющее существенные черты оригинала
В-приближенное представление реальных объектов, процессов или систем, выраженное в математических терминах и сохраняющее существенные черты оригинала
Г-приближенное представление реальных объектов, процессов или систем, выраженное в физических терминах и сохраняющее существенные черты оригинала
- № 5 Подход описания динамики жидкости и газа, основанный на наблюдении за траекториями индивидуальных частиц и определении их координат в зависимости от времени, носит имя этого ученого
- А- Л.Эйлер
Б- Ж. Лагранж
В- Дж. Стокс
Г- Г. Гельмгольц
- № 6 Обобщенный закон сохранения можно сформулировать следующим образом
- А-изменение некоторой сохраняемой величины, связанной с выделенной порцией сплошной среды, происходит за счет потока, приносящего через границы материального объема эту субстанцию внутрь объема, и за счет источников, действующих внутри объема
Б-изменение некоторой сохраняемой величины, связанной с выделенной порцией сплошной среды, происходит только за счет потока, приносящего через границы материального объема эту субстанцию внутрь объема
В-изменение некоторой сохраняемой величины, связанной с выделенной порцией сплошной среды, происходит только за счет источников этой субстанции, действующих внутри объема
Г-изменение любой величины, связанной с выделенной порцией сплошной среды, происходит только за счет источников этой субстанции, действующих внутри объема
- № 7 Назовите тип численного решения различных задач, который состоит из двух

шагов.

На первом шаге вычисляется грубое приближение требуемой величины.

На втором шаге при помощи иного метода приближение уточняется

А-предиктор корректор

Б-распад разрыва

В-прогонки

Г-обратной прогонки

№ 8

Основой метода конечных разностей является

А-замена непрерывной области изменения независимых переменных совокупностью

Б-представление решения в виде разности двух и более функций

В-поиск решения на конечных отрезках интегрирования

Г-определение потоков через поверхность контрольного объема

№ 9

Конечно-разностная аппроксимация производных заключается

А-в замене производных соответствующими конечно разностными аналогами

Б-в увеличении числа точек разбиения области изменения независимых переменных

В-в переходе от конечных разностей к производным искомой функции

Г-в аппроксимации дискретной моделью, которая строится на множестве

кусочно-непрерывных функций, определённых на конечном числе подобластей (элементов)

№ 10

Для одномерных уравнений газовой динамики на входной границе области задаются

А-три условия

Б-два условия

В-одно условие

Г-зависит от параметров потока на входной границе

ОПК-8

Вопросы открытого типа:

№ 1 Что означает что система уравнений приведена к дивергентному виду?

№ 2 Зачем нужны модельные уравнения в численных методах?

№ 3 Что необходимо для составления разностной схемы?

№ 4 Что такое структурированные сетки?

№ 5 Что называется разностным шаблоном?

№ 6 Что означает устойчивость разностной схемы?

№ 7 Что является основным требованием, предъявляемым к разностной схеме?

№ 8 Какая разностная схема называется консервативной?

- № 9 Какие разностные схемы называются экономичными?
- № 10 В чем преимущества неявных разностных схем?
Вопросы закрытого типа:
- № 1 Искусственная вязкость изменяет градиенты всех параметров независимо от причины возникновения этих градиентов следующим образом:
- А-уменьшает градиенты
- Б-увеличивает градиенты
- В-оказывает влияние только на градиенты скорости
- Г-не влияет на изменение этих градиентов
- № 2 Условием согласованности разностной схемы является
- А-стремление к нулю погрешности аппроксимации при измельчении сетки
- Б-стремление сеточной функции к точному решению
- В-стремление к нулю погрешности аппроксимации при укрупнении сетки
- Г-стремление к нулю погрешности округления при измельчении сетки
- № 3 Подход описания динамики жидкости и газа, основанный на определении параметров среды, рассматривая их изменения в фиксированных точках пространства, занятого этой средой, носит имя этого ученого
- А- Л. Эйлер
- Б- Ж. Лагранж
- В- Дж. Стокс
- Г- Г. Гельмгольц
- № 4 Какой из перечисленных ниже операторов является оператором поэлементного умножения
- А- *
- Б- .*
- В- **
- Г- *
- № 5 С какого символа начинаются комментарии в Matlab?
- А- %
- Б- \\\

- В- //
- Г- #
- № 6 Как записывается гиперболический тангенс на языке Matlab?
- А- $\tanh(x)$
- Б- $\text{th}(x)$
- В- $\tan(x)$
- Г- $\text{tg}(x)$
- № 7 Какая команда устанавливает масштаб, обеспечивающий одинаковые расстояния между метками по осям x и y?
- А- axis equal
- Б- axis auto
- В- axis on
- Г- axis square
- № 8 Что выполняет команда grid on?
- А- включает сетку
- Б- выключает сетку
- В- позволяет накладывать новый график на предыдущий
- Г- добавляет название графика
- № 9 Какое из выражений создаёт вектор-строку?
- А- $V = 1:10'$;
- Б- $V = [1;2;3;4;5;6];$
- В- $V = [1,2,3,4,5,6];$
- Г- $V = \text{linspace}(1,5);$
- № 10 Для обозначения мнимой единицы в комплексных числах в MatLab зарезервировано два символа
- А- i и j
- Б- i и k
- В- j и k
- Г- k и z