

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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: 2025

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Овчинникова Ольга Константиновна, к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_

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:

ОПК-8 — Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения

ПК-1.3 — Способен проводить анализ тепловых и газодинамических процессов с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-8**

*знания:*

правила создания компьютерного программного обеспечения, построения математических моделей и алгоритмов;

*умения:*

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

*навыки:*

разработки алгоритмов и применения численных методов для решения прикладных задач.

### **ПК-1.3**

*знания:*

правил математического описания тепловых и газодинамических процессов, принципов вычислительного моделирования с применением современных вычислительных средств;

*умения:*

корректно формулировать задачи, обосновывать принимаемые допущения, анализировать полученные результаты исследований;

*навыки:*

постановки и решения задач в современных прикладных программах вычислительного моделирования процессов гидроаэродинамики и тепломассопереноса.

## 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: **СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА В АРКТ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ, ПРАКТИКУМ В ГИДРОАЭРОДИНАМИКЕ**.

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
- ОПК-8 — Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения
- ПК-1.3 — Способен проводить анализ тепловых и газодинамических процессов с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования
- ПК-93 — Способен генерировать новые идеи для решения задач цифровой экономики, абстрагироваться от стандартных моделей, перестраивать сложившиеся способы решения задач, выдвигать альтернативные варианты действий с целью выработки новых оптимальных алгоритмов

### 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		ОПК-8	ПК-1.3
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
3	6	Раздел 2. Корректность краевой задачи. О корректной постановке задач газовой динамики. Принцип установления.	14	6	4	2	8	14	14
3	6	Раздел 3. Элементы метода сеток. Сетки и сеточные функции. Разностная аппроксимация пространственных дифференциальных операторов. Явные и неявные разностные схемы.	7	3	2	1	4	7	7
3	6	Раздел 4. Свойства разностных схем. Устойчивость разностных схем. Консервативность. Сходимость. Аппроксимация. Устойчивость. Согласованность. Точность. Экономичность. Связь между ними. Спектральный признак устойчивости. Анализ устойчивости для уравнения диффузии. Устойчивость по начальным данным для уравнения переноса. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви (КФЛ). Схемы бегущего счета.	14	6	4	2	8	14	14
3	6	Раздел 5. Методы решения сеточных уравнений. Метод прогонки.	7	3	2	1	4	7	7
3	6	Раздел 6. Разностные схемы для двумерных задач. Явные и неявные схемы. Схемы расщепления, продольно-поперечной прогонки, предиктор-корректор.	7	3	2	1	4	7	7
3	6	Раздел 7. Разностные схемы для уравнения Пуассона. Прямой и итерационный методы. Аппроксимация граничных условий.	7	3	2	1	4	7	7
3	6	Раздел 8. Разностные схемы для уравнения переноса вихря. Диффузия на разностной сетке. Схемная вяз-кость. Граничные условия для вихря скорости. Расчет давления и температуры. Общая схема расчета течения вязкой жид-кости.	7	3	2	1	4	7	7
3	6	Раздел 9. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа. Схемы с явной и неявной искусственной вязкостью.	7	3	2	1	4	7	7
3	6	Раздел 10. Метод "распада разрывов". Разностная схема для уравнения акустики.	9	5	4	1	4	7	7
3	6	Раздел 11. 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
3	6	Раздел 12. 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
Всего за 6 семестр			108	51	34	17	57	100	100
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	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)	2
3	Раздел 3. Элементы метода сеток.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
4	Раздел 4. Свойства разностных схем. Устойчивость разностных схем.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	2
5	Раздел 5. Методы решения сеточных уравнений.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
6	Раздел 6. Разностные	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения	1

	схемы для двумерных задач.	первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	
7	Раздел 7. Разностные схемы для уравнения Пуассона.	Расчетная работа № 4. Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	1
8	Раздел 8. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.	Расчетная работа № 5. Разностное решение уравнений Навье-Стокса в переменных функция тока-вихрь скорости.	1
9	Раздел 9. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.	Расчетная работа № 6. Построение криволинейных, согласованных с границами области разностных сеток.	1
10	Раздел 10. Метод "распада разрывов".	Расчетная работа № 6. Построение криволинейных, согласованных с границами области разностных сеток.	1
11	Раздел 11. 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
12	Раздел 12. 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
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>17</b>

### 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	8
3	Раздел 3. Элементы метода сеток.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
4	Раздел 4. Свойства разностных схем. Устойчивость разностных схем.	Изучение дидактических единиц данного раздела	8
5	Раздел 5. Методы решения сеточных уравнений.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
6	Раздел 6. Разностные схемы для двумерных задач.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
7	Раздел 7. Разностные схемы для уравнения Пуассона.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
8	Раздел 8. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
9	Раздел 9. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
10	Раздел 10. Метод "распада разрывов".	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
11	Раздел 11. Криволинейные согласованные с границами области сетки.	Изучение дидактических единиц данного раздела	4
12	Раздел 12. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка.	Изучение дидактических единиц данного раздела	5
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>57</b>

#### 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		Отч. по ПЗ		ДР		Отч. по ПЗ			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://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <https://ura1t.ru> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### 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](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:

1. Microsoft Office;
2. MATLAB R 2015a.

### 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. Microsoft Office;
2. MATLAB R 2015a.

### **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*:

ОПК-8 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения;

ПК-1.3 Способен проводить анализ тепловых и газодинамических процессов с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования.

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.
<b>Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП).</b>		
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
<b>Раздел 2. Корректность краевой задачи.</b>		
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)	8
Итого по разделу 2		8
<b>Раздел 3. Элементы метода сеток.</b>		
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
<b>Раздел 4. Свойства разностных схем. Устойчивость разностных схем.</b>		
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)	8
Итого по разделу 4		8
<b>Раздел 5. Методы решения сеточных уравнений.</b>		
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 5		4

<b>Раздел 6. Разностные схемы для двумерных задач.</b>		
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
<b>Раздел 7. Разностные схемы для уравнения Пуассона.</b>		
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 7		4
<b>Раздел 8. Разностные схемы для уравнения переноса вихря.</b>		
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
<b>Раздел 9. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа.</b>		
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 9		4
<b>Раздел 10. Метод "распада разрывов".</b>		
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 10		4
<b>Раздел 11. Криволинейные согласованные с границами области сетки.</b>		
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 11		4
<b>Раздел 12. Метод конечного объема для дифференциальных уравнений первого и второго порядка.</b>		
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 12		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		ОПК-8	ПК-1.3	
3	6	Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных (ДУЧП).	7	3	2	1	4	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 2. Корректность краевой задачи.	14	6	4	2	8	14	14	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 3. Элементы метода сеток.	7	3	2	1	4	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 4. Свойства разностных схем. Устойчивость разностных схем.	14	6	4	2	8	14	14	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 5. Методы решения сеточных уравнений.	7	3	2	1	4	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 6. Разностные схемы для двумерных задач.	7	3	2	1	4	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 7. Разностные схемы для уравнения Пуассона.	7	3	2	1	4	7	7	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию



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

**ОПК-8 - Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения**

- № 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Опишите критерий Куранта - Фридрихса - Леви.
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Дайте определение понятию "сходимость численного метода".
- № 3 Прочитайте текст и установите соответствие  
Сопоставьте процессы и типы описывающих их уравнений.
- 1 уравнение Пуассона
  - 2 уравнение Лапласа
  - 3 одномерное волновое уравнение
  - 4 уравнение одномерной нестационарной теплопроводности
  - 5 уравнение диффузии
- а эллиптическое
- б гиперболическое
- с параболическое
- д линейное
- е квадратное
- № 4 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие типа граничных условий и задаваемых величин:
- 1 ГУ первого рода
  - 2 ГУ второго рода
  - 3 ГУ третьего рода
- а задается значение функции
- б задается значение первой производной от функции
- с задается комбинация значений функции и её производной
- д задается значение второй производной от функции
- е задается значение интеграла от функции
- № 5 Прочитайте текст и установите последовательность  
Опишите порядок действий при составлении конечно-разностной схемы для дифференциального уравнения второго порядка  $u''(x) + Au'(x) + Bu(x) = f(x)$
- 1 выбрать порядок аппроксимации по времени и пространству и точечный шаблон
  - 2 заменить первую производную  $u'(x)$  конечно-разностным отношением
  - 3 заменить вторую производную  $u''(x)$  конечно-разностным отношением
  - 4 получить конечно-разностную аппроксимацию уравнения
  - 5 проверить корректность и сходимость разностной схемы к решению исходной задачи
- № 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Опишите процесс решения стационарной задачи методом установления.

1 Формулировка нестационарного аналога стационарной задачи, где граничные условия не зависят от времени.

2 Построение разностной схемы

3 Вычисление приближённого решения в некоторый момент времени (на шаге по времени)

4 Сравнение решения на последовательных временных шагах

5 Сравнение полученной погрешности и заданной точности

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Что не входит в "триаду моделирования"?

1 эксперимент

2 модель

3 алгоритм

4 программа

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

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.

1 предиктор - корректор

2 распад разрыва

3 прямой и обратной прогонки

4 установления

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Искусственная вязкость изменяет градиенты всех параметров независимо от причины возникновения этих градиентов следующим образом:

1 уменьшает градиенты

2 увеличивает градиенты

3 оказывает влияние только на градиенты скорости

4 не влияет на изменение этих градиентов

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Выберите верные тезисы для продолжения фразы:

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...

1 задача поставлена корректно

2 решение является устойчивым

3 задача поставлена корректно

4 решение является устойчивым

5 достигнута сходимость по сетке

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Выберите основные типы уравнений математической физики

1 эллиптические

2 гиперболические

3 параболические

4 линейные

5 квадратные

6 квадратурные

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Что необходимо для составления разностной схемы?

1 заменить область непрерывного изменения аргумента областью его дискретного изменения

2 заменить дифференциальные операторы разностными

3 сформулировать разностные аналоги для граничных условий и начальных данных

4 проинициализировать расчётную область

5 сформулировать основные физические допущения математической модели

6 провести оценку сеточной сходимости

**ПК-1.3 - Способен проводить анализ тепловых и газодинамических процессов с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Сформулируйте теорему Лакса об эквивалентности.

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Опишите понятия расчетной сетки и сеточной функции.

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Для дифференциального уравнения второго порядка в частных производных вида

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} + C \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + D \frac{\partial u}{\partial x} + E \frac{\partial u}{\partial t} = F$$

вводят аналог дискриминанта  $\Delta = B^2 - 4AC$ , определяющего тип уравнения:

1  $\Delta < 0$

2  $\Delta = 0$

3  $\Delta > 0$

a уравнение эллиптического типа

b уравнение параболического типа

c уравнение гиперболического типа

d уравнение смешанного типа

е уравнение вырожденного типа

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие точечных шаблонов схем, изображенных на рисунках, и их описания:

1



2



3



а явная схема первого порядка по времени и пространству

б неявная схема первого порядка по времени и пространству

с неявная схема второго порядка по пространству с центральными разностями

д явная схема второго порядка по пространству с центральными разностями

е явная схема второго порядка по времени с центральными разностями

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Опишите последовательность действий при построении явной конечно-разностной схемы первого порядка по времени и пространству (шаг по пространству известен) для уравнения переноса

$$\frac{\partial U}{\partial t} + V \frac{\partial U}{\partial x} = 0.$$

1 выбрать тип схемы "по потоку" или "против потока"

2 записать конечно-разностные аналоги производных по времени и пространству

3 выразить неизвестную величину (значение функции на новом временном шаге)

4 определить значение шага по времени по максимально допустимому числу Куранта

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Опишите последовательность действий при решении задачи о распаде произвольного разрыва методом Годунова.

1 Дискретизация расчётной области. Область делится на ячейки равного размера.

2 Определение осредненных в ячейке значений физических переменных: плотности, скорости, давления.

3 Определение типов волн, распространяющихся с границ ячеек (ударные волны, волны разрежения и контактные разрывы).

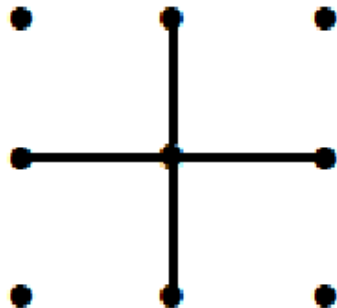
4 определение новых параметров в ячейках из решения задачи Римана.

5 Проверка условия Куранта-Фридрихса-Леви, чтобы скорость распространения волн не превышала отношение шага по времени к шагу по пространству.

6 Корректировка шага по времени.

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Как называют конечно-разностную схему, точечный шаблон которой приведен на рисунке?



1 трехслойная схема

2 схема "чехарда"

3 схема с центральными разностями

4 поточная схема

5 противопоточная схема

6 схема предиктор-корректор

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Система уравнений в переменных "функция тока" и  $\omega$  "вихрь скорости" представляет собой ...

1 аналог системы уравнений Навье - Стокса для двумерного течения вязкой сжимаемой жидкости

2 аналог системы уравнений Навье - Стокса для двумерного течения вязкой несжимаемой жидкости

3 аналог системы уравнений Эйлера для течения вязкой несжимаемой жидкости

4 аналог системы уравнений Эйлера для течения невязкой сжимаемой жидкости

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Что не относится к методам построения конечно-разностных аппроксимаций?

1 Искусственный метод

2 Интерполяционный метод

3 Метод неопределенных коэффициентов

4 Итерационный метод

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие процессы описывает уравнение параболического типа с постоянным коэффициентом переноса?

1 диффузию

2 теплопроводность

3 конвекцию

4 колебание струны

5 электромагнитное поле

6 установившееся течение жидкости

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Для устойчивости разностной схемы необходимо, чтобы область зависимости решения разностной задачи включала в себя область зависимости решения дифференциальной задачи. Этот признак устойчивости назван по фамилиям ...

1 Куранта

2 Фридрихса

3 Леви

4 Адамса

5 Рихтмана

6 Ньютона

7 Лакса

8 Дерихле

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Движение вязкой сжимаемой теплопроводной жидкости или газа описывается уравнениями ...

1 Навье - Стокса

2 Эйлера

3 Ньютона

4 Рейнольдса