

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-космическая техника
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: 2026

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, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА В ТЕПЛОТЕХНИКЕ И АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПРАКТИКУМ В ГИДРОАЭРОДИНАМИКЕ, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕПЛОТЕХНИКЕ И АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ**.

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. Уравнения математической физики. Модельные уравнения. Типы граничных условий. Постановка краевых задач для ДУЧП. Начальные условия. Краевые задачи. Корректность постановки граничных и начальных условий. Классификация подходов к решению уравнений математической физики.	12	5	4	1	7	10	10
3	6	Раздел 2. Простейшие конечно-разностные схемы. Точечные шаблоны и конечно-разностные схемы для решения простейшего гиперболического уравнения переноса. Явные и неявные схемы. Устойчивость решения. Критерий Куранта - Фридрихса - Леви. Схемы по потоку и против потока.	20	10	6	4	10	18	18
3	6	Раздел 3. Конечно-разностные схемы высоких порядков. Элементы метода сеток. Сетки и сеточные функции. Разностная аппроксимация пространственных дифференциальных операторов. Аппроксимация граничных условий. Порядок уравнения и порядок аппроксимации. Схема предиктор-корректор.	18	8	6	2	10	18	18
3	6	Раздел 4. Метод установления. Уравнение Лапласа. Уравнение Пуассона. Аппроксимация граничных условий. Применение итерационных методов для их решения. Метод установления в газовой динамике и теплотехнике. Метод прогонки.	16	6	4	2	10	18	18
3	6	Раздел 5. Разностные схемы для двумерных задач. Двумерные задачи в газовой динамике. Переход к переменным функция тока - вихрь. Аппроксимация граничных условий. Явные и неявные схемы. Схемы расщепления, продольно-поперечной прогонки, предиктор-корректор. Диффузия на разностной сетке. Схемная вязкость. Расчет давления и температуры. Общая схема расчета течения вязкой жидкости.	20	10	6	4	10	18	18
3	6	Раздел 6. Метод Годунова для решения задачи распада произвольного разрыва. Классификация волн и разрывов. Скорости распространения ударной волны и волны Римана. Уравнение акустики. Разностная схема для уравнения акустики. Решение задачи Римана. Условия динамической совместности на контактном разрыве. Метод Годунова. Консервативные и примитивные переменные для уравнений газовой динамики. Схема Лакса. Схема Рое. Схема aum.	22	12	8	4	10	18	18
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).	Модельные уравнения в частных производных, граничные условия, начальные условия. Формулировки краевых задач.	1
2	Раздел 2. Простейшие конечно-разностные схемы.	Исследование устойчивости явных разностных схем для простейшего гиперболического уравнения переноса.	4
3	Раздел 3. Конечно-разностные схемы высоких порядков.	Решение уравнения одномерной нестационарной теплопроводности с использованием явной разностной схемы, схемы предиктор-корректор, неявной разностной схемы	2
4	Раздел 4. Метод установления.	Итерационные методы решения первой краевой задачи для уравнения Лапласа в прямоугольной области.	2
5	Раздел 5. Разностные схемы для двумерных задач.	Решение уравнений газовой динамики в переменных функция тока - вихрь	4
6	Раздел 6. Метод Годунова для решения задачи распада произвольного разрыва.	Решение задачи о распаде разрыва	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	7
2	Раздел 2. Простейшие конечно-разностные схемы.	Изучение дидактических единиц данного раздела	10
3	Раздел 3. Конечно-разностные схемы высоких порядков.	Изучение дидактических единиц данного раздела	10
4	Раздел 4. Метод установления.	Изучение дидактических единиц данного раздела	10
5	Раздел 5. Разностные схемы для двумерных задач.	Изучение дидактических единиц данного раздела	10
6	Раздел 6. Метод Годунова для решения задачи распада произвольного разрыва.	Изучение дидактических единиц данного раздела	10
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	ТекК		Отч. по ПЗ		ДР	Отч. по ПЗ		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. Е. Зализняк. Основы вычислительной физики. Ч. I Введение в конечно-разностные методы. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, 31 экз.
2. В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
3. В. Н. Емельянов. Введение в теорию разностных схем. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, 54 экз.
4. 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.
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://ura.it.ru> — Главная – 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. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. Microsoft Office;
4. 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-космическая техника 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	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, Е. М. Герлиман, И. В. Тетерина. . Вычислительная математика в задачах аэрокосмической техники: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2022 (1)	7
Итого по разделу 1		7
<b>Раздел 2. Простейшие конечно-разностные схемы.</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) В. Е. Зализняк. Основы вычислительной физики. Ч. I Введение в конечно-разностные методы: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (1)	10
Итого по разделу 2		10
<b>Раздел 3. Конечно-разностные схемы высоких порядков.</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) В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (3)	10
Итого по разделу 3		10
<b>Раздел 4. Метод установления.</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)	10
Итого по разделу 4		10
<b>Раздел 5. Разностные схемы для двумерных задач.</b>		
Изучение	В. Н. Емельянов. Введение в теорию разностных схем: СПб.БГТУ	10

дидактических единиц данного раздела	"ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2)	
Итого по разделу 5		10
<b>Раздел 6. Метод Годунова для решения задачи распада произвольного разрыва.</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)	10
Итого по разделу 6		10

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

#### Вопросы для текущего контроля

Собеседование по пройденному материалу, устные ответы на контрольные вопросы, решение практических задач для проверки усвоения материала

#### Отчет по практическому заданию

Индивидуальные практические задания для самостоятельной работы входят в состав УМК дисциплины.

Задания формируются в соответствии с наименованием раздела дисциплины и индивидуальным номером студента в списке группы. В течение семестра студент выполняет 5 отчетов по практическим работам.

Выполненное задание оформляется как отчет по проделанной работе и оценивается по десятибалльной шкале на соответствие следующим критериям:

- Текстовая часть отчета выполнена на стандартных листах белого цвета формата А4, цвет шрифта черный.
- При оформлении использован шрифт Times New Roman или Arial, кегль 12-14 пт; полуторный межстрочный интервал и обычный межзнаковый интервал.
- При оформлении использован абзацный отступ 1,25 см; абзацный интервал 0; выравнивание по ширине страницы.
- Отчет содержит все необходимые элементы: титульный лист, цель и задачи работы, теоретические сведения, допущения, полученные результаты, выводы.
- При наборе формул использован встроенный редактор Microsoft Office Word (Microsoft Equation 3.0) или редактор MathType. Формулы выровнены по центру.
- После каждой формулы ставится запятая, а первая строка с расшифровкой начинается со слова «где» без двоеточия и без абзацного отступа.
- Рисунки представлены в формате: «Рисунок 1 – Наименование», выровнены по центру, без абзацного отступа. Их количество является достаточным для пояснения полученных результатов и обоснования выводов.
- Представленное решение задачи соответствует индивидуальному заданию.
- Полученные результаты представлены в виде графиков или таблиц значений и позволяют проанализировать влияние на результат решения задачи применения различных численных методов решения и (или) их настроек.
- Выводы о проделанной работе обоснованы и опираются на представленные результаты.

Оценка выставляется в соответствии с полученными баллами: 5-6 баллов "удовлетворительно", 7-8 баллов "хорошо", 9-10 баллов "отлично".

#### Зачет

Зачет выставляется при условии выполнения обучающимся всех контрольных мероприятий, предусмотренных рабочей программой дисциплины, оценка определяется по сумме баллов в рамках БАРС. В случае, если баллов недостаточно, зачет проводится в формате собеседования по курсу и оценки "зачтено" заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой.



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-8	ПК-1.3	
3	6	Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных ( ДУЧП ).	12	5	4	1	7	10	10	Вопросы для текущего контроля
3	6	Раздел 2. Простейшие конечно-разностные схемы.	20	10	6	4	10	18	18	Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 3. Конечно-разностные схемы высоких порядков.	18	8	6	2	10	18	18	Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 4. Метод установления.	16	6	4	2	10	18	18	Вопросы для текущего контроля, Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 5. Разностные схемы для двумерных задач.	20	10	6	4	10	18	18	Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 6. Метод Годунова для решения задачи распада произвольного разрыва.	22	12	8	4	10	18	18	Отчет по практическому заданию
Всего за 6 семестр			108	51	34	17	57	100	100	
Всего по дисциплине			108	51	34	17	57	100	100	

## Оценочные материалы по дисциплине РАЗНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

### **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, 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
- № 3 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
- № 4 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Дайте определение понятию "сходимость численного метода".
- № 5 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
- a эллиптическое  
b гиперболическое  
c параболическое  
d линейное  
e квадратное
- № 6 Прочитайте текст и установите соответствие  
Установите соответствие типа граничных условий и задаваемых величин:
- 1 ГУ первого рода
  - 2 ГУ второго рода



З 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

№ 7 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 первую производную  $u''(x)$  конечно-разностным отношением

4 получить конечно-разностную аппроксимацию уравнения

5 проверить корректность и сходимость разностной схемы к решению исходной задачи

№ 8 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

№ 9 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

№ 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 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

e уравнение вырожденного типа

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Сформулируйте теорему Лакса об эквивалентности.

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Опишите понятия расчетной сетки и сеточной функции.

№ 4 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

№ 5 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.

№ 6 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

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

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

1



2





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

№ 8 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

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

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

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

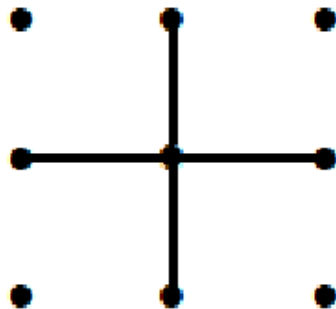
2 аналог системы уравнений Навье - Стокса для двумерного течения вязкой несжимаемой жидкости

3 аналог системы уравнений Эйлера для течения вязкой несжимаемой жидкости

4 аналог системы уравнений Эйлера для течения невязкой сжимаемой жидкости

№ 10 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

№ 11 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

№ 12 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 Рунгмана

6 Ньютона

7 Лакса

8 Дерихле