

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

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 Юнаков Л. П.  
 (подпись) ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МЕТОДЫ РАСЧЕТА В АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ

|  |   |
|--|---|
| Направление/специальность подготовки       | 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами     |
| Специализация/профиль/программа подготовки | Системы управления беспилотными летательными аппаратами |
| Уровень высшего образования                | Специалитет   |
| Форма обучения                             | Очная   |
| Факультет                                  | А Ракетно-космической техники                           |
| Выпускающая кафедра                        | А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  |
| Кафедра-разработчик рабочей программы      | А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  |

| КУРС | СЕМЕСТР | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ<br>(ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ) | ЧАСЫ (по наличию видов занятий) |                    |        |                           |                         |                        |                 |                 |                               | ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО<br>КОНТРОЛЯ |
|------|---------|---|---------------------------------|--------------------|--------|---------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|--------------------------------|
|      |         |   | ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ              | АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ |        |                           |                         | САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА |                 |                 |                               |                                |
|      |         |   |                                 | ВСЕГО              | ЛЕКЦИИ | ЛАБОРАТОРНЫЙ<br>ПРАКТИКУМ | ПРАКТИЧЕСКИЕ<br>ЗАНЯТИЯ | ВСЕГО                  | КУРСОВОЙ ПРОЕКТ | КУРСОВАЯ РАБОТА | ДРУГИЕ ВИДЫ<br>САМОСТ. РАБОТЫ |                                |
| 4    | 7       | 3                                       | 108                             | 51                 | 17     | 0                         | 34                      | 57                     | 0               | 0               | 57                            | диф.<br>зач.                   |

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.06 Системы управления летательными аппаратами**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Клочков Александр Викторович, к.т.н., доцент

Программа рассмотрена

на заседании кафедры-разработчика

рабочей программы **А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф.

Программа рассмотрена

на заседании выпускающей кафедры

**А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Толпегин О.А., д.т.н., проф.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МЕТОДЫ РАСЧЕТА В АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ**

## **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-5 — способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности, для решения инженерных задач |
| ПСК-2.1 — Способность к проведению научных исследований и разработке проектных решений в области динамики и систем управления БПЛА  |

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

## **ОПК-5**

*знания:*

на уровне представлений знать:

- классификацию систем уравнений в частных производных ;
- основные свойства и требования, предъявляемые к разностным схемам;
- понятие корректной дифференциальной и разностной краевой задачи, типы граничных

условий;

- типы расчетных сеток, их достоинства и недостатки;
- принципы и методы проектирования разностных схем для решения уравнений в частных производных различного типа;
- понятия аппроксимации, устойчивости и экономичности разностных схем;

*умения:*

теоретически и практически уметь:

- формулировать краевые условия для различных задач газовой динамики;
- проводить анализ разностных схем на сходимость, устойчивость, порядок аппроксимации, экономичность и т.д.;

*навыки:*

иметь навыки и владеть

- методами постановки корректной дифференциальной и разностной краевой задачи;
- методами построения разностных сеток;
- методами решения систем уравнений разностной краевой задачи.

## **ПСК-2.1**

*знания:*

на уровне представлений знать:

- перспективные подходы, применяемые для решения многомерных задач газовой динамики, их достоинства и недостатки);
- различные алгоритмические приемы, применяемые для решения систем дифференциальных уравнений различного типа;

*умения:*

теоретически и практически уметь:

- решать системы дифференциальных уравнений различными методами;
- произвести анализ полученных результатов расчета;

*навыки:*

иметь навыки и владеть

- навыками использования современных вычислительных пакетов;
- навыками анализа полученных результатов расчета.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МЕТОДЫ РАСЧЕТА В АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.06 Системы управления летательными аппаратами*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **АЭРОГАЗОДИНАМИКА, ПАКЕТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ АЭРОГИДРОДИНАМИКИ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА**.

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 для решения инженерных задач профессиональной деятельности
- ПК-94 — способен к управлению информацией и данными, поиску источников информации и данных, восприятию, анализу, запоминанию и передаче информации с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных источников данными с целью эффективного использования полученной информации для решения задач
- ПК-95 — способен к критическому мышлению в цифровой среде, оценке информации, ее достоверности, построению логических умозаключений на основании поступающих информации и данных
- ПСК-2.3 — Способность к проведению анализа летно-технических характеристик БПЛА

### 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-5                      | ПСК-2.1 |
| 4                   | 7       | Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных и методиках их решения. Цели и задачи курса. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных и методиках их решения. Классификация дифференциальных уравнений. Постановка краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных. Корректность краевой задачи.   | 8     | 4                                     | 4      | 0                    | 4                                | 20                         | 20      |
| 4                   | 7       | Раздел 2. Метод сеток. Сетки и сеточные функции. Краевые условия. Разностная аппроксимация простейших дифференциальных операторов. Методы построения конечноразностных аппроксимаций. Примеры разностных схем. Явные и неявные разностные схемы.   | 27    | 13                                    | 3      | 10                   | 14                               | 20                         | 20      |
| 4                   | 7       | Раздел 3. Свойства разностных схем. Сходимость разностной схемы. Аппроксимация разностной схемы. Устойчивость разностной схемы. Зависимость между аппроксимацией и устойчивостью. Свойства консервативности и экономичности схем. Спектральный признак устойчивости. Условие устойчивости Куранта-Фридрихса-Леви. Метод прогонки.  | 33    | 16                                    | 4      | 12                   | 17                               | 30                         | 30      |
| 4                   | 7       | Раздел 4. Методы решения сеточных уравнений. Разностные схемы для двумерных задач. Метод дробных шагов в разностных схемах расщепления. Методы решения уравнения Пуассона. Прямые и итерационные методы. Методы установления. Разностные схемы для уравнения переноса вихря. Разностные схемы для расчета движения сжимаемого газа. Схемы с явной и неявной искусственной вязкостью. Методы, основанные на интегральных законах сохранения. Метод С.К.Годунова. Метод Харлоу - частиц в ячейках. | 40    | 18                                    | 6      | 12                   | 22                               | 30                         | 30      |
| Всего за 7 семестр  |         |  | 108   | 51                                    | 17     | 34                   | 57                               | 100                        | 100     |
| Всего по дисциплине |         |  | 108   | 51                                    | 17     | 34                   | 57                               | 100                        | 100     |

#### 3.2. Аудиторный практикум

| № п/п              | Номер и наименование раздела дисциплины      | Тема практического занятия   | Объем, ауд. часов |
|--------------------|--|--|-------------------|
| 1                  | Раздел 2. Метод сеток.                       | Расчет теплового состояния тела с помощью явной разностной схемы. Исследование устойчивости явной разностной схемы для уравнения одномерной нестационарной теплопроводности. | 10                |
| 2                  | Раздел 3. Свойства разностных схем.          | Расчет теплового состояния тела с помощью неявной разностной схемы. Исследование свойств неявной разностной схемы для уравнения одномерной нестационарной теплопроводности.  | 12                |
| 3                  | Раздел 4. Методы решения сеточных уравнений. | Решение двумерной задачи теплового состояния тела при произвольных краевых условиях различными методами.   | 12                |
| Всего за 7 семестр |  |  | 34                |

#### 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 и методиках их решения. | Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.             | 4            |
| 2     | Раздел 2. Метод сеток.   | Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе Подготовка к | 14           |

|                           |  |   |           |
|---------------------------|--|---|-----------|
|                           |  | практическим работам, оформление и защита отчетов по лабораторным работам.  |           |
| 3                         | Раздел 3. Свойства разностных схем.          | Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе Подготовка к практическим работам, оформление и защита отчетов по лабораторным работам.  | 17        |
| 4                         | Раздел 4. Методы решения сеточных уравнений. | Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе Подготовка к лабораторным работам, оформление и защита отчетов по лабораторным работам. Подготовка программы расчета. Анализ и обоснование достоверности полученных результатов. | 22        |
| <b>Всего за 7 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        |
| 7       |                 |   |   | ВРЗД | ИПЗ | ДР |   | ИПЗ |   | ДР |    |    | ИПЗ |    |    | ДР | диф. зач. |

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- ИПЗ – индивидуальное практическое задание;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- индивидуальное практическое задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Самарский. . Теория разностных схем. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983, 13 экз.
2. А. А. Самарский. . Введение в численные методы. СПб.: Лань, 2005, 6 экз.
3. А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, эл. рес.
4. В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
5. В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем. М.: Юрайт, 2020, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. А. А. Самарский, А. П. Михайлов. . Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001, 2 экз.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <https://intuit.ru/studies/courses/1170/213/lecture/5489?page=1> — НОУ ИНТУИТ | Лекция | Исследование разностных схем для эволюционных уравнений на устойчивость и сходимость;;
2. <https://intuit.ru/studies/courses/1170/213/lecture/5491> — НОУ ИНТУИТ | Лекция | Численное решение дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа на примере уравнения теплопроводности;;
3. <https://intuit.ru/studies/courses/1170/213/lecture/5503> — НОУ ИНТУИТ | Лекция | Методы расщепления;
4. <https://intuit.ru/studies/courses/1170/213/lecture/5499> — НОУ ИНТУИТ | Лекция | Численное решение уравнений в частных производных эллиптического типа на примере уравнений Лапласа и Пуассона;.

### 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. Qt Creator 4.11.14;
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. Qt Creator 4.11.14;
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 **МЕТОДЫ РАСЧЕТА В АЭРОГАЗОДИНАМИКЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.06 *Системы управления летательными аппаратами*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А5 ДИНАМИКА И УПРАВЛЕНИЕ ПОЛЕТОМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-5 способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности, для решения инженерных задач;

ПСК-2.1 Способность к проведению научных исследований и разработке проектных решений в области динамики и систем управления БПЛА.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с численным решением уравнений математической физики при решении инженерных задач аэрогазодинамики и тепломассопереноса.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- индивидуальное практическое задание.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 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 и методиках их решения.</b>  |  |                    |
| Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе.  | А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (1,2)<br>А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (1)<br>А. А. Самарский, А. П. Михайлов. . Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001 (1)<br>А. А. Самарский. . Введение в численные методы: СПб.: Лань, 2005 (1) | 4                  |
| Итого по разделу 1   |  | 4                  |
| <b>Раздел 2. Метод сеток.</b>  |  |                    |
| Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе Подготовка к практическим работам, оформление и защита отчетов по лабораторным работам. | В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (2,3,4)<br>А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (3)<br>А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (3)   | 14                 |
| Итого по разделу 2   |  | 14                 |
| <b>Раздел 3. Свойства разностных схем.</b>   |  |                    |
| Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе Подготовка  | В. Н. Емельянов. . Численные методы:   | 17                 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| к практическим работам, оформление и защита отчетов по лабораторным работам.  | введение в теорию разностных схем: М.: Юрайт, 2020 (4)   |    |
| Итого по разделу 3  |  | 17 |
| <b>Раздел 4. Методы решения сеточных уравнений.</b>   |  |    |
| Изучение предусмотренных программой разделов по конспектам лекций и рекомендуемой литературе Подготовка к лабораторным работам, оформление и защита отчетов по лабораторным работам. Подготовка программы расчета. Анализ и обоснование достоверности полученных результатов. | А. А. Самарский. . Теория разностных схем: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1983 (7)<br>В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (6) | 22 |
| Итого по разделу 4  |  | 22 |

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- индивидуальное практическое задание;
- дифференцированный 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 по разделу

Студенту предлагается 3 вопроса по результатам прохождения раздела, на которые необходимо дать правильный ответ. Вопросы для текущего контроля приведены в УМК дисциплины.

#### Индивидуальное практическое задание

Практическое задание (ПЗ) считается выполненным, если студент полностью выполнил все пункты ПЗ.

Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненному заданию и ответов на вопросы преподавателя.

При оформлении практических заданий требуется руководствоваться следующими рекомендациями:

- в описательной части отчета излагается содержание, приводятся схема, математическая модель, исходные данные для расчетного варианта, метод решения.
  - все вычисления проводятся подробно, сопровождаясь необходимыми пояснениями. Все вычисления заносятся в таблицы;
  - табличные данные представляются также в виде графиков, условные обозначения и размерности откладываемых по осям величин указываются в принятых по ГОСТ сокращениях
  - при выполнении расчетов с использованием ЭВМ нужно обязательно приводить распечатки (листинг) программ;
  - по каждому ПЗ студент должен представить выводы на основании выполненных расчетов.
- Студент обязан выполнять все ПЗ в срок и сдавать их преподавателю согласно графику мероприятий межсессионного контроля.

Отчет по ПЗ считается принятым в случае, если оформление отчета соответствуют указанным требованиям, и студент ответил не менее чем на 60% вопросов преподавателя по теме ПЗ.

Отчет не может быть принят и подлежит доработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала.

Варианты индивидуальных практических заданий представлены в УМК дисциплины.

#### Дифференцированный зачет

Контроль по дисциплине проходит в форме дифференцированного зачета.

Допуск к дифференцированному зачету оформляется при условии полного выполнения всех мероприятий, предусмотренных графиком контрольных мероприятий.

Оценка за дифференцированный зачет выставляется по результатам выполнения тестового задания, включающее 5 тестовых вопросов.

- оценка «зачтено-удовлетворительно» проставляется при правильном ответе не менее чем на 60% вопросов тестового задания;
- оценка «зачтено-хорошо» проставляется при правильном ответе не менее чем на 80% вопросов тестового задания;
- оценка «зачтено-отлично» проставляется при правильном ответе не менее чем на 90% вопросов тестового задания. Тестовые вопросы приведены в УМК дисциплины.

- при правильном ответе менее 60% вопросов тестового задания - «не зачтено»  
Тестовые вопросы приведены в УМК дисциплины.

Паспорт фонда оценочных средств

| КУРС                | СЕМЕСТР | Наименование разделов и дидактических единиц   | ВСЕГО | Аудиторные занятия в контактной форме |        |                      | Самостоятельная работа студентов | Формируемая компетенция, % |         | НАИМЕНОВАНИЕ<br>ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА |
|---------------------|---------|--|-------|---------------------------------------|--------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|---------|-------------------------------------|
|                     |         |  |       | ВСЕГО                                 | Лекции | Практические занятия |                                  | ОПК-5                      | ПСК-2.1 |                                     |
|                     |         |  |       |                                       |        |                      |                                  |                            |         |                                     |
| 4                   | 7       | Раздел 1. Общие сведения о дифференциальных уравнениях в частных производных и методиках их решения. | 8     | 4                                     | 4      | 0                    | 4                                | 20                         | 20      | Вопросы по разделу                  |
| 4                   | 7       | Раздел 2. Метод сеток.   | 27    | 13                                    | 3      | 10                   | 14                               | 20                         | 20      | Индивидуальное практическое задание |
| 4                   | 7       | Раздел 3. Свойства разностных схем.  | 33    | 16                                    | 4      | 12                   | 17                               | 30                         | 30      | Индивидуальное практическое задание |
| 4                   | 7       | Раздел 4. Методы решения сеточных уравнений.   | 40    | 18                                    | 6      | 12                   | 22                               | 30                         | 30      | Индивидуальное практическое задание |
| Всего за 7 семестр  |         |  | 108   | 51                                    | 17     | 34                   | 57                               | 100                        | 100     |                                     |
| Всего по дисциплине |         |  | 108   | 51                                    | 17     | 34                   | 57                               | 100                        | 100     |                                     |

## Критерии оценивания

### ОПК-5

Вопросы открытого типа:

- № 1 Для решения уравнения теплопроводности имеем явную

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$$

и неявную

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2}$$

разностные схемы.

- № 2 Какими преимуществами обладает неявная схема?  
Для решения уравнения теплопроводности имеем явную

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$$

и неявную

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2}$$

разностные схемы.

- № 3 Какими преимуществами обладает явная схема?  
Для решения уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

имеем явную разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$$

- № 4 Какой порядок аппроксимации она обеспечивает?  
Для решения уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

имеем неявную разностную схему



$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2}$$

- Какой порядок аппроксимации она обеспечивает?
- № 5 В чем основное преимущество метода конечных объемов по сравнению с методом конечных разностей?
- № 6 В каком случае разностная краевая задача является консервативной?
- № 7 Какие функции являются собственными функциями оператора дифференцирования?
- № 8 Разностная краевая задача является экономичной, если
- № 9 Что даёт использование метода «предиктор-корректор» при решении двумерного уравнения теплопроводности?

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

- № 10 При решении уравнения Пуассона (Лапласа) использование итерационного метода Гаусса-Зейделя обеспечивает

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 В каком случае система уравнений в частных производных относится к эллиптическому типу?
- характеристическое уравнение системы не имеет действительных корней
  - характеристическое уравнение системы имеет действительные корни
  - характеристическое уравнение системы представляет собой уравнение эллипса
  - характеристическое уравнение системы не существует
- № 2 В каком случае система уравнений в частных производных относится к гиперболическому типу?
- характеристическое уравнение системы не имеет действительных корней
  - характеристическое уравнение системы имеет действительные корни
  - характеристическое уравнение системы представляет собой уравнение гиперболы
  - характеристическое уравнение системы имеет нулевые корни
- № 3 Что понимается под краевыми условиями дифференциальной задачи?
- начальные условия и значения дифференциалов функции на краях расчетной области
  - граничные условия
  - совокупность начальных и граничных условий
  - дифференциальные уравнения на краях расчетной области
- № 4 Какое выражение соответствует граничным условиям I рода?

где:

u-искомая функция,

S-граница расчетной области,

n-нормаль к S

$$\left( \frac{\partial u}{\partial n} + \alpha u \right)_S = f(x, y)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = f(x, y)$$

$$u|_S = f(x, y)$$

$$(\alpha u)_S = f(x, y)$$

№ 5 Какое выражение соответствует граничным условиям II рода?

где:

u-искомая функция,

S-граница расчетной области,

n-нормаль к S

$$\left( \frac{\partial u}{\partial n} + \alpha u \right)_S = f(x, y)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = f(x, y)$$

$$u|_S = f(x, y)$$

$$(\alpha u)_S = f(x, y)$$

№ 6 Какое выражение соответствует граничным условиям III рода?

где:

u-искомая функция,

S-граница расчетной области,

n-нормаль к S

$$\left( \frac{\partial u}{\partial n} + \alpha u \right)_S = f(x, y)$$

$$\frac{\partial u}{\partial n} \Big|_S = f(x, y)$$

$$u|_S = f(x, y)$$

$$\left( \alpha u \right)_S = f(x, y)$$

№ 7 Какой порядок аппроксимации имеет левая разностная производная

$$\Lambda_x^- = \frac{u_i - u_{i-1}}{h}$$

- первый
- второй
- третий
- зависит от шага расчетной сетки

№ 8 Какой порядок аппроксимации имеет правая разностная производная

$$\Lambda_x^+ = \frac{u_{i+1} - u_i}{h}$$

- второй
- третий
- зависит от шага расчетной сетки

№ 9 Какой порядок аппроксимации имеет центральная разностная производная

$$\Lambda_x^o = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h}$$

- первый
- второй
- третий

- № 10 · зависит от шага расчетной сетки  
От чего зависит порядок аппроксимации разностной схемы на равномерной расчетной сетке?
- от шага расчетной сетки
  - от количества узлов сетки, использованных в разностном шаблоне
  - от степени, с которой шаг сетки входит в разностный шаблон
- от условия устойчивости

### ПСК-2.1

Вопросы открытого типа:

- № 1 Приведите формулировку спектрального признака устойчивости разностного оператора.
- № 2 Приведите формулировку теоремы Лакса-Рябенского
- № 3 Какая функция является собственной функцией оператора?
- № 4 Для решения двумерного уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

имеем явную разностную схему

$$\frac{u_{ij}^{n+1} - u_{ij}^n}{\tau} = a \frac{u_{i+1,j}^n - 2u_{ij}^n + u_{i-1,j}^n}{hx^2} + a \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{ij}^n + u_{i,j-1}^n}{hy^2}$$

- № 5 приведите критерий устойчивости  
Для решения уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

имеем разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = a \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$$

- № 6 приведите критерий устойчивости  
Для решения уравнения теплопроводности

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = a \frac{u_{i+1}^n - 2u_i^n + u_{i-1}^n}{h^2}$$

имеем разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} = a \frac{u_{i+1}^{n+1} - 2u_i^{n+1} + u_{i-1}^{n+1}}{h^2}$$

- № 7 приведите критерий устойчивости  
Для решения волнового уравнения

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

имеем разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + V \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{h} = 0$$

№ 8      приведите критерий устойчивости  
Для решения волнового уравнения

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

имеем разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + V \frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{h} = 0$$

№ 9      приведите критерий устойчивости  
Для решения волнового уравнения

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

имеем разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + V \frac{u_i^n - u_{i-1}^n}{h} = 0$$

№ 10      какой порядок аппроксимации она обеспечивает?  
Для решения волнового уравнения

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

имеем разностную схему

$$\frac{u_i^{n+1} - u_i^n}{\tau} + V \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{h} = 0$$

какой порядок аппроксимации она обеспечивает?  
*Вопросы закрытого типа:*

№ 1      Что называется спектром собственных значений оператора?

- множество спектральных радиусов оператора
- множество собственных решений оператора
- множество собственных значений оператора
- множество собственных функций оператора

№ 2      Что понимается под краевыми условиями дифференциальной задачи?

- Начальные условия и значения дифференциалов функции на краях расчетной области
- Граничные условия
- Совокупность начальных и граничных условий
- Дифференциальные уравнения на краях расчетной области

№ 3 При решении уравнения Пуассона (Лапласа) использование нижней релаксации обеспечивает:

- повышение скорости сходимости итерационного процесса
- снижение объема потребной оперативной памяти
- уменьшение количества потребных арифметических операций в пределах одного итерационного цикла
- повышение устойчивости итерационного процесса
- повышение точности расчета

№ 4 При решении уравнения Пуассона (Лапласа) использование верхней релаксации обеспечивает:

- снижение объема потребной оперативной памяти
- повышение скорости сходимости итерационного процесса
- уменьшение количества потребных арифметических операций в пределах одного итерационного цикла
- повышение точности расчета
- повышение устойчивости итерационного процесса

№ 5 Метод продольно-поперечной прогонки может быть применён при решении трёхмерного уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

№ 6 Метод Годунова допускает использование сеток адаптируемых к форме расчетной области в т.ч. подвижных, связанных с ударными волнами, контактными разрывами

№ 7 Отметьте основные свойства разностной схемы расщепления

$$\frac{u_{i,j}^n - u_{i,j}^{n-1}}{\tau} = a \frac{u_{i+1,j}^{n-1} - 2u_{i,j}^{n-1} + u_{i-1,j}^{n-1}}{hx^2}$$

$$\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\tau} = a \frac{u_{i,j+1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j-1}^n}{hy^2}$$

для решения двумерного уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

- невозможность распространения на 3-х мерный случай
- неэкономичность
- возможность распространения на 3-х мерный случай
- экономичность
- 1-ый порядок аппроксимации по t, 2-ой порядок аппроксимации по x и y
- первый порядок аппроксимации по t,x,y
- безусловная устойчивость
- условная устойчивость

№ 8 При решении двумерного уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

схема предиктор-корректор обеспечивает:

- повышение порядка сходимости до третьего

- повышение порядка аппроксимации по  $t$  до третьего
- повышение порядка аппроксимации по  $t$  до второго
- безусловную устойчивость
- уменьшение количества арифметических операций при переходе на слой  $n+1$

№ 9                    Метод Годунова базируется на уравнениях сохранения массы, количества движения и энергии в дифференциальной форме

№ 10                  Методом распада-разрывов называется:

- метод простой итерации
- метод Годунова
- метод кусочно-постоянных граничных условий
- метод установления
- метод продольно-поперечной прогонки