

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МУЛЬТИФИЗИКА И МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование технологических процессов производства авиационных, ракетных двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
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	34	17	0	17	74	0	0	74	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2025

Программу составили:

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

\_\_\_\_\_

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Тетерина Ирина Владимировна, к.т.н., заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

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

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **МУЛЬТИФИЗИКА И МНОГОМАСШТАБНОЕ 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-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-5**

*знания:*

основных математических соотношений и уравнений математической физики, описывающих аэродинамические процессы в стационарной и нестационарной постановке, с учётом вязких, аэроупругих и акустических эффектов;

*умения:*

разрабатывать физические и математическим модели аэродинамических нестационарных, вязких, сжимаемых течений;

*навыки:*

численного моделирования аэродинамических нестационарных, вязких, сжимаемых течений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МУЛЬТИФИЗИКА И МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению 24.05.02 *Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК, ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КАМЕРЕ СГОРАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-7 — Способен критически и системно анализировать достижения отрасли двигателестроения и энергетической техники и способы их применения в профессиональном контексте
- ПСК-5.13 — Способен применять системы автоматизированного проектирования (CAD) при решении задач профессиональной деятельности
- ПСК-5.4/24 — Способен разрабатывать КД на детали, изготавливаемые по аддитивным технологиям, изготавливать их и оценивать показатели качества деталей, полученных по аддитивным технологиям
- ПСК-5.8 — Способен применять системы автоматизации инженерных расчётов (CAE) при решении задач профессиональной деятельности

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-5
3	6	<b>Раздел 1. Сжимаемая и сверхзвуковая аэродинамика.</b> - введение в «мультифизические» задачи и сопряженные постановки - основные критерии подобия в гидроаэродинамике - термодинамические модели текучих сред, особенности высокотемпературных газовых сред - уравнения Навье – Стокса для описания сжимаемых течений газа - осреднение по Рейнольдсу и Фавру - замыкающие соотношения, уравнения моделей турбулентности.	30	10	5	5	20	20
3	6	<b>Раздел 2. Трёхмерный сжимаемый пограничный слой.</b> - понятие динамического и термического пограничного слоя - оценка толщины пограничного слоя - турбулентный пограничный слой.	19	4	2	2	15	20
3	6	<b>Раздел 3. Нестационарная аэродинамика.</b> - уравнения Навье – Стокса для описания нестационарных сжимаемых течений газа - газодинамические разрывы и условия динамической совместности - волны Римана - задача о распаде произвольного разрыва - задача Римана и метод Годунова.	19	4	2	2	15	20
3	6	<b>Раздел 4. Аэроакустика.</b> - понятие аэроакустики - понятие акустических измерений - математические модели акустических процессов.	20	8	4	4	12	20
3	6	<b>Раздел 5. Аэроупругость.</b> - классификация аэротермоупругих явлений - упругие характеристики элементов летательных аппаратов - статическая аэроупругость - динамическая аэроупругость.	20	8	4	4	12	20
<b>Всего за 6 семестр</b>			108	34	17	17	74	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	34	17	17	74	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Сжимаемая и сверхзвуковая аэродинамика.	Создание геометрических моделей, построение сеточных моделей, задание граничных условий, выбор моделей и настройки решателя, оценка сеточной сходимости, возможность учёта особенностей реальных газов при решении сверхзвуковых задач, визуализация результатов: построение полей течения и графиков, получение интегральных характеристик	5
2	Раздел 2. Трёхмерный сжимаемый пограничный слой.	Особенности выбора моделей турбулентности для разрешения пристеночных течений в задачах аэродинамики, сгущение сетки в пограничном слое, призматические слои в расчетных сетках, критерий $y^+$	2
3	Раздел 3. Нестационарная аэродинамика.	Постановка и решение нестационарных задач, использование функций для задания граничных условий, визуализация результатов: создание анимации и видеороликов	2
4	Раздел 4. Аэроакустика.	Моделирование акустических эффектов в задачах аэродинамики. Модуль Ansys Mechanical для моделирования распространения звука, виброакустики, а также акустических свойств материалов. Модуль Ansys VRXPERIENCE SOUND для обработки и анализа звуковых сигналов, включая подавление шума и определение тональных компонентов.	4
5	Раздел 5. Аэроупругость.	Моделирование аэроупругих явлений, расчет колебаний конструкций и их элементов под действием газодинамических нагрузок с помощью решателя MFX (Multidisciplinary Field Analysis, FSI)	4
<b>Всего за 6 семестр</b>			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№	Номер и наименование	Содержание учебного задания	Объем,
---	----------------------	-----------------------------	--------

п/п	раздела дисциплины		часов
1	Раздел 1. Сжимаемая и сверхзвуковая аэродинамика.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	20
2	Раздел 2. Трёхмерный сжимаемый пограничный слой.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	15
3	Раздел 3. Нестационарная аэродинамика.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	15
4	Раздел 4. Аэроакустика.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	12
5	Раздел 5. Аэроупругость.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	12
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>74</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					Р. отч.	ДР			Р. отч.	ДР			Р. отч.			ДР	Р. отч., диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Р. отч. – раздел отчета;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- раздел отчета.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017, эл. рес.
2. А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017, эл. рес.
3. А. О. Кожемякин, А. В. Омельченко, В. Н. Усков. . Нестационарные процессы в газовой динамике. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005, эл. рес.
4. В. А. Кузнецов. . Гидрогазодинамика. Москва: Юрайт, 2023, эл. рес.
5. В. К. Ерофеев, Г. А. Лукьянов, А. В. Савин. . Аэроакустика. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991, 32 экз.
6. В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, 70 экз.
7. И. П. Гинзбург. . Аэрогазодинамика. М.: Высшая школа, 1966, 120 экз.
8. М. В. Мурашов, С. Д. Панин. . Решение задач механики сплошной среды в программном комплексе ANSYS. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009, эл. рес.
9. М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.
10. М. Г. Моисеев, Ю. П. Савельев, Ю. М. Циркунов. . Трение и теплообмен в аэродинамике летальных аппаратов. Уравнения Навье-Стокса и ламинарного пограничного слоя. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1986, 63 экз.
11. М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
12. Н. А. Брыков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Динамика вязкой жидкости. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021, 16 экз.
13. О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Решение прикладных задач термогазодинамики в Ansys. СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023, эл. рес.
14. С. Г. Парафесь, В. И. Смыслов. . Проектирование конструкции и САУ БПЛА с учетом аэроупругости. Постановка и методы решения задачи . Москва: Техносфера, 2018, эл. рес.
15. Ю. М. Циркунов. . Лекции по механике жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
16. Ю. П. Щевьев. . Основы физической акустики. СПб.: Лань, 2017, 10 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. Г. Шлихтинг. . Теория пограничного слоя. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974, 2 экз.
2. И. П. Гинзбург, Ю. П. Савельев. . Пограничный слой смеси газов. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1974, 3 экз.
3. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. С. Козелков. . Модели и методы вычислительной аэроакустики. М.: Научтехлитиздат, 2022, 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://ura.it.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов;
2. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
3. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=474](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=474) — Электронные ресурсы — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### 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. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. Microsoft Office;
3. SolidWorks 2015 R5.

#### 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. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
2. Microsoft Office;
3. SolidWorks 2015 R5.

### **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 **МУЛЬТИФИЗИКА И МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. 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-5 Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с математическим, имитационным и численным моделированием аэродинамических процессов. Особое внимание уделяется задачам в сопряженной постановке, нестационарным, аэроупругим и акустическим эффектам.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- раздел отчета.

**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 (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 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. Сжимаемая и сверхзвуковая аэродинамика.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	<p>В. А. Кузнецов. . Гидрогазодинамика: Москва: Юрайт, 2023 (1-5)</p> <p>Ю. М. Циркунов. . Лекции по механике жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-5)</p> <p>Н. А. Брыков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Динамика вязкой жидкости: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2021 (1-5)</p> <p>А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (1-5)</p> <p>И. П. Гинзбург. . Аэрогазодинамика: М.: Высшая школа, 1966 (1-5)</p> <p>М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (1-5)</p> <p>О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Решение прикладных задач термогазодинамики в Ansys: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023 (1-5)</p> <p>М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-5)</p> <p>М. В. Мурашов, С. Д. Панин. . Решение задач механики сплошной среды в программном комплексе ANSYS: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009 (1-5)</p>	20
Итого по разделу 1		20
<b>Раздел 2. Трёхмерный сжимаемый пограничный слой.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	<p>Г. Шлихтинг. . Теория пограничного слоя: М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974 (1-5)</p> <p>И. П. Гинзбург, Ю. П. Савельев. . Пограничный слой смеси газов: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1974 (1-5)</p> <p>Ю. В. Лапин. . Турбулентный пограничный слой в сверхзвуковых потоках газа: Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1982 (1-5)</p> <p>М. Г. Моисеев, Ю. П. Савельев, Ю. М. Циркунов. . Трение и теплообмен в аэродинамике летательных аппаратов. Уравнения Навье-Стокса и ламинарного</p>	15

	пограничного слоя: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1986 (1-5)	
Итого по разделу 2		15
<b>Раздел 3. Нестационарная аэродинамика.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	В. Н. Усков. . Бегущие одномерные волны: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1-5) А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (1-5) А. О. Кожемякин, А. В. Омельченко, В. Н. Усков. . Нестационарные процессы в газовой динамике: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1-5) А. О. Кожемякин, А. В. Омельченко, В. Н. Усков. . Нестационарные процессы в газовой динамике: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2005 (1-5)	15
Итого по разделу 3		15
<b>Раздел 4. Аэроакустика.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	Ю. П. Щевьев. . Основы физической акустики: СПб.: Лань, 2017 (1-5) В. К. Ерофеев, Г. А. Лукьянов, А. В. Савин. . Аэроакустика: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1991 (1-5) К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, А. С. Козелков. . Модели и методы вычислительной аэроакустики: М.: Научтехлитиздат, 2022 (1-5)	12
Итого по разделу 4		12
<b>Раздел 5. Аэроупругость.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе. Подготовка к практическим занятиям	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (13) С. Г. Парафесь, В. И. Смыслов. . Проектирование конструкции и САУ БПЛА с учетом аэроупругости. Постановка и методы решения задачи : Москва: Техносфера, 2018 (1-6)	12
Итого по разделу 5		12

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- раздел отчета;
- 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.

#### Раздел отчета

Раздел отчёта представляет собой описание задачи, включая постановку, план выполнения и цель предлагаемого исследования.

Отчет по работе представляется в печатном виде и должен содержать: цель, физическую постановку задачи, математическую модель, результаты исследования, представленные в численном виде и в виде графика, анализа полученных результатов и выводов по работе.

Отчет не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов расчетов.

Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Процедура защиты включает ответы на вопросы преподавателя по работе и разделу курса. В ходе защиты работы обучающиеся должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы.

Оценка защиты работы выставляется по 100 бальной шкале с учётом:

- выполнение работы – 20 баллов,
- оформление пояснительной записки – 30 баллов,
- защита результатов, ответы на вопросы и их логика, культура речи – 50 баллов.

В случае набора 75 баллов студент получает зачет по данной работе.

#### Дифференцированный зачет

Допуск к зачёту возможен только при условии получения положительной оценки (отлично, хорошо или удовлетворительно) за защиту отчёта.

Дифференцированный зачёт, включает в себя устные ответы на два вопроса по выбору преподавателя из списка вопросов. Список вопросов представлен в УМК дисциплины.

Знания, умения и навыки студентов оцениваются следующим образом:

- оценки «зачтено-отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «зачтено-отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала;
- оценки «зачтено-хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «зачтено-хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности;
- оценки «зачтено-удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебного

материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «зачтено-удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя;

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «не зачтено» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

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-5	
3	6	Раздел 1. Сжимаемая и сверхзвуковая аэродинамика.	30	10	5	5	20	20	Раздел отчета
3	6	Раздел 2. Трёхмерный сжимаемый пограничный слой.	19	4	2	2	15	20	Раздел отчета
3	6	Раздел 3. Нестационарная аэродинамика.	19	4	2	2	15	20	Раздел отчета
3	6	Раздел 4. Аэроакустика.	20	8	4	4	12	20	Раздел отчета
3	6	Раздел 5. Аэроупругость.	20	8	4	4	12	20	Раздел отчета
Всего за 6 семестр			108	34	17	17	74	100	
Всего по дисциплине			108	34	17	17	74	100	



## Оценочные материалы по дисциплине МУЛЬТИФИЗИКА И МНОГОМАСШТАБНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

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

- № 1 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
При анализе нагрева корпуса летательного аппарата, движущегося с высокой сверхзвуковой скоростью, необходимо учитывать следующие виды теплообмена:
1. Конвективный теплообмен
  2. Теплопроводность
  3. Теплообмен излучением
  4. Все перечисленное
- № 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Что такое гидродинамический пограничный слой?
- № 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Что такое сеточная сходимость?
- № 4 Прочитайте текст и установите последовательность  
Определите последовательность действия для решения задачи о стационарном обтекании профиля дозвуковым потоком вязкого газа:
1. Решение задачи для обтекания профиля идеальным газом (невязким)
  2. Выделение области пристеночного пограничного слоя и решение в ней задачи об обтекании вязким газом
  3. Определение режима течения на основании вычисленных чисел Маха и Рейнольдса
  4. Определение характерных толщин динамического и теплового пограничных слоев, уточнение возможности считать течение несжимаемым
- № 5 Прочитайте текст и установите соответствие  
Соответствие элементов крыла и их функций
- | Элемент крыла  | Функция |
|--|---------|
| 1. Закрылок  |         |
| 2. Элерон  |         |
| 3. Лонжерон  |         |
| 4. Киль  |         |
| А. Увеличение подъемной силы на взлете и посадке     |         |
| В. Управление креном самолета                        |         |
| С. Основной силовой элемент, воспринимающий нагрузки |         |
| Д. Обеспечение путевой устойчивости                  |         |
| Е. Создание подъемной силы                           |         |
| Ф. Посадка и руление на земле                        |         |
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

На поверхности твердого тела для вязкого совершенного газа ставятся следующие граничные условия:

1. Скорость и температура «на бесконечности»
2. Условие «непротекания»
3. Условие «прилипания»
4. Тепловой режим поверхности (условие на температуру, тепловой поток или сопряжение)

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Соотнесите названия сред (течений) и их описания

1. Несжимаемая жидкость
  2. Сжимаемый газ
  3. Несжимаемый газ
- А. Среда, в которой масса вещества в единице объема может изменяться
- Б. Среда, в которой давление и температура постоянны
- В. Среда, в которой масса вещества в единице объема постоянна
- Г. Среда, в которой давление постоянно

№ 8 Прочитайте текст и установите последовательность

Какова последовательность решения задачи в механике жидкости и газа:

1. Формирование физико-механического описания задачи (ключевых действующих факторов)
2. Решение прикладной задачи или серии задач, зависящих от параметра (или параметров)
3. Определение параметров задачи, известных (экспериментальных) данных и целевых показателей
4. Поиск и анализ ранее выполненных решений, анализ научно-технической литературы
5. Введение и обоснование допущений, формирование математической модели
6. Анализ результатов, сравнение с экспериментами и целевыми показателями
7. Построение численной модели или поиск аналитического решения (если возможен)

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

Отношение скорости потока в данной точке к местной скорости звука называют ...

- 1 число Маха
- 2 число Крокко
- 3 число Нуссельта
- 4 число Рейнольдса
- 5 число Кнудсена

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

Отношение скорости потока в данной точке к максимальной теоретической скорости истечения (скорости истечения в вакуум) называют ...

- 1 число Маха
- 2 число Крокко

3 число Нуссельта

4 число Рейнольдса

5 число Кнудсена

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

Термически совершенный газ, описываемый моделью текучей среды "ideal gas" в Ansys подчиняется уравнениям ...

1 термическому уравнению состояния Менделеева - Клапейрона

2 калорическому уравнению состояния  $U = c_v T$

3 уравнению Ван-дер-Ваальса

4 уравнению Редлиха – Квонга

5 калорическому уравнению состояния  $U = c T$

6 термическому уравнению состояния  $\rho = \text{const}$

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

Какие постулаты всегда принимаются в классической теоретической Механике Жидкости и Газа (МЖГ):

1. Евклидовость пространства

2. Стационарность течения

3. Абсолютность времени

4. Сплошность среды