

**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

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Моделирование и информационные технологии проектирования ракетно-космических систем
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ
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	5	3	108	68	34	17	17	40	0	0	40	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Шалимов Виталий Петрович, 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

**А1 РАКЕТОСТРОЕНИЕ**

Заведующий кафедрой Бородавкин В.А., д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА**

### **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-1 — способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности

ОПК-5 — способность 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-1**

*знания:*

на уровне представлений: приобретение студентом знаний в области аэрогидрогазодинамики;

на уровне воспроизведения: описание моделей аэрогидрогазодинамики, основные методы расчета задач аэрогидрогазодинамики, методы теоретического и экспериментального исследования процесса до- и сверхзвукового течения газа;

на уровне понимания: изучить основные методы расчета аэрогидрогазодинамики;;

*умения:*

теоретические: определять режим движения и виды сопротивлений русла потока в зависимости от режима движения; анализировать процесс течения до- и сверхзвукового газа;

Практические: решать задачи аэрогидрогазодинамики;;

*навыки:*

постановки и решения практических задач; использования расчетных зависимостей для определения параметров покоящейся и движущейся жидкости; определять скорость потока;;

### **ОПК-5**

*знания:*

на уровне представлений: приобретение студентом знаний в области аэрогидрогазодинамики;

на уровне воспроизведения: описание моделей аэрогидрогазодинамики, основные методы расчета задач аэрогидрогазодинамики, методы теоретического и экспериментального исследования процесса до- и сверхзвукового течения газа ;

на уровне понимания: изучить основные методы расчета аэрогидрогазодинамики;;

*умения:*

теоретические: определять режим движения и виды сопротивлений русла потока в зависимости от режима движения; анализировать процесс течения до- и сверхзвукового газа;

Практические: решать задачи аэрогидрогазодинамики;;

*навыки:*

постановки и решения практических задач; использования расчетных зависимостей для определения параметров покоящейся и движущейся жидкости; определять скорость потока;;

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ И РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОХОЖДЕНИЯ АТМОСФЕРЫ, ДВИГАТЕЛИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ДИНАМИКА ПОЛЕТА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**.

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

### 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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	ОПК-5
3	5	<b>Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики.</b> Аэрогидрогазодинамика как раздел механики. Задачи, решаемые аэрогидрогазодинамикой. Разделы аэрогидрогазодинамики.	5	2	2	0	0	3	10	10
3	5	<b>Раздел 2. Основные понятия и определения.</b> Понятие сплошной среды. Понятие легкодеформируемой (текучей) среды. Сжимаемая и несжимаемая среда. Понятие жидкой частицы и скорости жидкой частицы. Термодинамические параметры газов и паров. Совершенные газы. Вязкость и теплопроводность газов. Невязкие и нетеплопроводные (изознтропические) течения. Внутренняя энергия и энтальпия газовых потоков.	10	6	4	0	2	4	12	12
3	5	<b>Раздел 3. Уравнение неразрывности.</b> Формулировка закона сохранения массы жидкой частицы. Дивергенция скорости – скорость объемной деформации жидкой частицы. Критерий сжимаемости и несжимаемости потока.	7	3	2	0	1	4	12	12
3	5	<b>Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).</b> Силы вязкого трения. Гипотеза Ньютона о вязких напряжениях. Условие пренебрежения вязкими силами. Невязкий (идеальный) газ. Второй закон Ньютона для движения идеального газа в гравитационном поле – уравнения Эйлера. Начальные и граничные условия. Покоящаяся тяжелая жидкость – уравнение гидростатики (как решение уравнения Эйлера). Покоящийся сжимаемый газ в гравитационном поле – уравнение атмосферы (как решение уравнения Эйлера).	11	6	4	0	2	5	10	10
3	5	<b>Раздел 5. Уравнение энергии.</b> Понятие линии и струйки тока. Полная энергия движущегося газа. Закон энергии для струйки тока. Случай изознтропического течения – уравнение Бернулли.	8	3	2	0	1	5	10	10
3	5	<b>Раздел 6. Изознтропические течения газа.</b> Система уравнений движения изознтропического течения совершенного газа. Скорость звука. До- и сверхзвуковые течения. Число Маха. Газодинамические функции.	7	3	2	0	1	4	10	10
3	5	<b>Раздел 7. Изознтропические течения несжимаемого газа.</b> Измерения давлений в потоке с помощью приемников давления (Пито, Пито-Прандтля, Прандтля, Вентури). Обтекание потоком твердых тел. Аэродинамические силы и характеристики. Центр давления тела. Устойчивость летательного аппарата. Возникновение подъемной силы, силы лобового сопротивления и момента тангажа на примерах осесимметричного тела и профиля крыла.	20	15	6	6	3	5	12	12
3	5	<b>Раздел 8. Изознтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).</b> Течение в каналах переменного сечения. Сопла и диффузоры. Сопло Лаваля. Режимы истечения из сопла. Критическое истечение из сопла. Критические параметры течения. Расходная функция сопла. Степень нерасчетности струи. Расчет параметров течения в сопле Лаваля с помощью газодинамических функций для одномерного течения и двумерного течения (модель сферического источника). тяга сопла. Условия максимума и минимума тяги.	20	15	6	5	4	5	12	12
3	5	<b>Раздел 9. Неизознтропические течения сжимаемого газа.</b> Вязкие теплопроводные течения. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения. Понятие вязкого пограничного слоя. Течения со скачками уплотнения. Возникновение скачков. Прямой и косой скачки. Соотношение параметров на скачках. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Измерения давлений трубкой Пито-Прандтля в сверхзвуковом потоке.	20	15	6	6	3	5	12	12
Всего за 5 семестр			108	68	34	17	17	40	100	100
Всего по дисциплине			108	68	34	17	17	40	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Основные понятия и определения.	Понятие «точки» пространства сплошной среды. Критерий сплошности – число Кнудсена (Kn). Количественные характеристики линейной и объемной деформации. Скорость линейной и объемной деформации. Зависимость скорости деформации от возникающих в среде напряжений. Совершенный газ. Уравнение Клайперона. Коэффициент вязкости. Гипотеза Ньютона. Коэффициент теплопроводности. Закон Фурье.	2

		Теплоёмкость газов $C_p$ и $C_v$ . Энтропия. Внутренняя энергия и энтальпия. Изоэнтропическое течение.	
2	Раздел 3. Уравнение неразрывности.	Закон сохранения энергии для жидкой частицы. Источники и стоки массы. Дивергенция скорости. Физический смысл «прямых» производных скорости.	1
3	Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).	Второй закон Ньютона для движущейся в гравитационном поле жидкой частицы в отсутствие вязкого трения. Градиент давления. Начальные и граничные условия. Случай покоящейся тяжелой жидкости. Уравнение гидростатики. Случай покоящего газа. Уравнение атмосферы.	2
4	Раздел 5. Уравнение энергии.	Струйка тока. Полная энергия потока. Уравнение энергии. Изоэнтропическое стационарное течение. Уравнение Бернулли в общем виде и для несжимаемого и сжимаемого течений. Максимальная скорость потока.	1
5	Раздел 6. Изоэнтропические течения газа.	Малые возмущения упругой среды (звук) и скорость звука. Звуковое давление. Логарифмическая шкала для измерения интенсивности (силы) звука (Дб и ДБа). Число Маха. Система уравнений для изоэнтропического сжимаемого стационарного течения совершенного газа. Газодинамические функции. Критическое течение и критические параметры течения.	1
6	Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа.	Приемники (трубки) давления: Пито, Прандтля, Пито-Прандтля. Трубка Вентури. Расчет полного и статического давлений потока по измерениям приемников давления. Аэродинамические силы, моменты и коэффициенты. Устойчивость ЛА.	3
7	Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).	Сопло Лаваля. Режимы истечения. Расчет параметров течения в сопле Лаваля (одномерное течение). Расчет параметров течения в сопле Лаваля (двумерное течение). Расход газа через сопло. Нерасчетность струи. Реактивная сила (тяга) сопла.	4
8	Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа.	Вязкость. Число Рейнольдса. Ламинарное и турбулентное течения. Пограничный слой. Скачок уплотнения. Соотношение параметров на скачке. Адиабата Рэнкина-Гюгонио. Расчет полного и статического давлений сверхзвукового потока по измерениям трубкой Пито-Прандтля. Потеря полного давления на скачке	3
<b>Всего за 5 семестр</b>			<b>17</b>

### 3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа.	Определение аэродинамических характеристик профиля по распределению давления	3
2		Исследование аэродинамических характеристик оперенного тела на аэродинамических весах	3
3	Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).	Течения газа по соплу Лаваля	3
4		Истечения газа из сосуда конечного объема.	2
5	Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа.	Скачки уплотнения в сверхзвуковой перерасширенной струе.	3
6		Натекание сверхзвуковой струи на преграду конечных размеров	3
Всего за 5 семестр			17

### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики.	Повторение и осмысление сведений о методах разделения механики (как раздела физики) на подразделы, о предмете и задачах, решаемых аэрогидрогазодинамикой.	3

2	Раздел 2. Основные понятия и определения.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	3
3		Подготовка к практическим занятиям	1
4	Раздел 3. Уравнение неразрывности.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	3
5		Подготовка к практическим занятиям	1
6	Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	4
7		Подготовка к практическим занятиям	1
8	Раздел 5. Уравнение энергии.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	4
9		Подготовка к практическим занятиям	1
10	Раздел 6. Изоэнтروпические течения газа.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	3
11		Подготовка к практическим занятиям	1
12	Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	4
13		Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	1
14	Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).	Оформление отчетов для защиты ЛР	1
15		Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	2
16	Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	2
17		Оформление отчетов для защиты ЛР	1
18		Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	2
19		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	2
<b>Всего за 5 семестр</b>			<b>40</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
5	ВРЗД			ВРЗД, Отч. по ЛР	ВРЗД	ДР	ВРЗД	ВРЗД, Отч. по ЛР	ВРЗД	ДР	ВРЗД	Отч. по ЛР	ВРЗД	Отч. по ЛР	ВРЗД	ДР	диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ВРЗД – вопросы по разделу;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- отчет по ЛР.

**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. Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика. Ч. 2 Описание лабораторных работ. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009, эл. рес.
3. Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. . Прикладная гидродинамика. Москва: Юрайт, 2022, эл. рес.
4. И. А. Балаганский. . Основы баллистики и аэродинамики. Новосибирск: НГТУ, 2017, эл. рес.
5. М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.
6. М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, 175 экз.
7. С. А. Кабанов, Д. С. Кабанов, Ф. В. Митин. . Расчёт аэрогидродинамических характеристик и траекторий подвижных объектов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019, 41 экз.
8. С. В. Белов, Я. В. Кондров, Е. В. Осипов. . Гиперзвуковая аэродинамика. Оренбург: Изд-во ОГУ, 2017, эл. рес.
9. Ю. М. Циркунов. . Лекции по механике жидкости и газа. 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://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
3. <https://ura.it.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
4. [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) — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
5. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде.

### 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:

не требуется.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

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

### **6.2. Практические занятия:**

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

### **6.3. Лабораторные занятия:**

1. Установка для изучения истечения газа из баллона.

### **6.4. 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 **АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов*. 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-1 способность применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности;

ОПК-5 способность 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 аэрогидрогазодинамикой ракетно-космических систем.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- вопросы по разделу;
- отчет по ЛР.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 3 з.е., **108 ч**. Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**40 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 40 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. Предмет аэрогидрогазодинамики.</b>		
Повторение и осмысление сведений о методах разделения механики (как раздела физики) на подразделы, о предмете и задачах, решаемых аэрогидрогазодинамикой.	Ю. М. Циркунов. . Лекции по механике жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (1.1) И. А. Балаганский. . Основы баллистики и аэродинамики: Новосибирск: НГТУ, 2017 (1) М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (1.1, 1.2) А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (1)	3
Итого по разделу 1		3
<b>Раздел 2. Раздел 2. Основные понятия и определения.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	И. А. Балаганский. . Основы баллистики и аэродинамики: Новосибирск: НГТУ, 2017 (2,5) М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (1.3, 1.4)	3
Подготовка к практическим занятиям		1
Итого по разделу 2		4
<b>Раздел 3. Уравнение неразрывности.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2.1) А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (3)	3
Подготовка к практическим занятиям		1
Итого по разделу 3		4
<b>Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2.2) Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. . Прикладная гидродинамика: Москва: Юрайт, 2022 (4)	4
Подготовка к практическим занятиям		1
Итого по разделу 4		5
<b>Раздел 5. Уравнение энергии.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. . Прикладная гидродинамика: Москва: Юрайт, 2022 (4.5)	4

Подготовка к практическим занятиям	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2.3)	1
Итого по разделу 5		5
<b>Раздел 6. Изозэнтропические течения газа.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (3.1, 3.2, 3.3) С. В. Белов, Я. В. Кондров, Е. В. Осипов. . Гиперзвуковая аэродинамика: Оренбург: Изд-во ОГУ, 2017 (5)	3
Подготовка к практическим занятиям		1
Итого по разделу 6		4
<b>Раздел 7. Изозэнтропические течения несжимаемого газа.</b>		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (3.5) Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика. Ч. 2 Описание лабораторных работ: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (стр. 33 - 53) И. А. Балаганский. . Основы баллистики и аэродинамики: Новосибирск: НГТУ, 2017 (6)	4
Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.		1
Итого по разделу 7		5
<b>Раздел 8. Изозэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).</b>		
Оформление отчетов для защиты ЛР	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика. Ч. 2 Описание лабораторных работ: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (стр. 53 - 77)	1
Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.		2
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (6)	2
Итого по разделу 8		5
<b>Раздел 9. Неизозэнтропические течения сжимаемого газа.</b>		
Оформление отчетов для защиты ЛР	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (4.1 - 4.4)	1
Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, М. Г. Моисеев ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Аэрогазодинамика. Ч. 2 Описание лабораторных работ: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2009 (стр. 77 -98)	2
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	С. А. Кабанов, Д. С. Кабанов, Ф. В. Митин. . Расчёт аэрогидродинамических характеристик и траекторий подвижных объектов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2019 (4)	2
Итого по разделу 9		5

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы по разделу;
- отчет по ЛР;
- 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

Ответы на контрольные вопросы по определенным разделам дисциплины осуществляются в устной форме.

Студенту задаются 3 вопроса в рамках изучаемого раздела, для успешной аттестации необходимо правильно ответить не менее чем на 2 вопроса. Ответ на вопрос должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

Список контрольных вопросов представлен в УМК.

#### Отчет по ЛР

Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по лабораторной работе.

Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Студенту задаются 3 вопроса в рамках работы, для успешной аттестации необходимо правильно ответить не менее, чем на 2 вопроса. Ответ на вопрос должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

В случае если оформление отчета и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, преподаватель принимает лабораторную работу как сданную.

Основаниями для непринятия или не защиты лабораторной работы, является:

- небрежное выполнение,
- низкое качество графического материала (неверный выбор масштаба чертежей, отсутствие указания единиц измерения на графиках, отсутствие названия графика),
- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов измерений.

Если у студента имеется хотя бы одна не сданная лабораторная работа, то он не допускается к сдаче дифференцированного зачета.

#### Дифференцированный зачет

Обучающийся допускается к сдаче дифференцированного зачета при условии защиты всех лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Дифференцированный зачет проводится в форме устных ответов на 2 теоретических вопроса, список которых представлен в УМК дисциплины.

По итогам ответов на вопросы, преподаватель выставляет оценку. Для оценки знаний может быть задан дополнительный вопрос.

Критерии оценивания:

Оценка «зачтено-отлично» - глубокие исчерпывающие знания и творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала; умение свободно решать практические задания (задачи, конкретные ситуации, расчеты и т.п.); логически последовательные, содержательные, полные, правильные и конкретные ответы на все поставленные вопросы (вопросы по теоретическому зачету) и дополнительные вопросы преподавателя; свободное владение основной и дополнительной литературой, рекомендованной учебной программой;

Оценка «зачтено-хорошо» - твердые и достаточно полные знания всего программного материала,

правильное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений; последовательные, правильные, конкретные ответы на поставленные вопросы при свободном устранении замечаний по отдельным вопросам; достаточное владение литературой, рекомендованной учебной программой;

Оценка «зачтено-удовлетворительно» - твердые знания и понимание основного программного материала; правильные, без грубых ошибок ответы на поставленные вопросы при устранении неточностей и несущественных ошибок в освещении отдельных положений при наводящих вопросах преподавателя; недостаточное владение литературой, рекомендованной учебной программой;

Оценка «не зачтено» - неправильные ответы на основные вопросы, грубые ошибки в ответах, непонимание сущности излагаемых вопросов; неуверенные и неточные ответы на дополнительные вопросы.



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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-1	ОПК-5	
3	5	Раздел 1. Предмет аэрогазодинамики.	5	2	2	0	0	3	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 2. Раздел 2. Основные понятия и определения.	10	6	4	0	2	4	12	12	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 3. Уравнение неразрывности.	7	3	2	0	1	4	12	12	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).	11	6	4	0	2	5	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 5. Уравнение энергии.	8	3	2	0	1	5	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 6. Изоэнтропические течения газа.	7	3	2	0	1	4	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа.	20	15	6	6	3	5	12	12	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР
3	5	Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).	20	15	6	5	4	5	12	12	Отчет по ЛР
3	5	Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа.	20	15	6	6	3	5	12	12	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР
Всего за 5 семестр			108	68	34	17	17	40	100	100	
Всего по дисциплине			108	68	34	17	17	40	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-1

#### Вопросы открытого типа:

- № 1      Дать определение теплопроводности
- № 2      Дать определение теплоизлучения
- № 3      Дать определение конвекции
- № 4      Дать определение теплоотдачи
- № 5      Возможна ли свободная конвекция на орбитальной станции?
- № 6      Какая из видов конвекций (свободная или вынужденная) обеспечит более интенсивное охлаждение (нагрев)?
- № 7      Турбулентное течение это
- № 8      Уравнение Эйлера это
- № 9      Уравнение Навье-Стокса это
- № 10     Критерий сплошной/дискретной среды

#### Вопросы закрытого типа:

- № 1      Выбрать правильную формулировку первого закона Ньютона

Существуют инерциальные системы отсчета, в которых тела, на которые не действуют внешние силы, движутся прямолинейно и равномерно

Ускорение тела прямо пропорционально внешней силе, действующей на тело.

При взаимодействии двух тел силы возникают всегда парами, причем сила, действующая на одно тело численно равна и противоположна по направлению силе, действующей на второе тело.

- № 2      Сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела  
Выбрать правильную формулировку второго закона Ньютона

Существуют инерциальные системы отсчета, в которых тела, на которые не действуют внешние силы, движутся прямолинейно и равномерно

Ускорение тела прямо пропорционально внешней силе, действующей на тело.

При взаимодействии двух тел силы возникают всегда парами, причем сила, действующая на одно тело численно равна и противоположна по направлению силе, действующей на второе тело.

- № 3      Сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела  
Выбрать правильную формулировку третьего закона Ньютона

Существуют инерциальные системы отсчета, в которых тела, на которые не действуют внешние силы, движутся прямолинейно и равномерно

Ускорение тела прямо пропорционально внешней силе, действующей на тело.

При взаимодействии двух тел силы возникают всегда парами, причем сила, действующая на одно тело численно равна и противоположна по направлению силе, действующей на второе тело.

- № 4      Сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела  
Выбрать правильную формулировку понятия «температура»

№ 5	Температура есть мера нагретости тела
	Температура есть мера средней кинетической энергии хаотического движения молекул
	Температура есть мера потенциальной энергии тела
	Температура есть мера кинетической энергии тела
№ 6	Выбрать правильную формулировку понятия «давление»
№ 6	Давление есть сила давления, действующая на единицу площади поверхности по нормали к ней
	Давление есть сила давления, действующая на площадь поверхности по нормали к ней
	Давление есть произведение силы давления на единицу площади поверхности
	Давление есть произведение силы давления на площадь поверхности
№ 7	Выбрать правильную формулировку понятия «термодинамическая работа»
№ 7	Часть механической работы, которая идёт на деформацию тела
	Часть механической работы, которая идёт на ускорение (торможение) тела
	Часть механической работы, которая превращается в теплоту
	Это скалярное произведение силы на перемещение
№ 8	Верно ли, что выделяют всего лишь две формы передачи энергии?
№ 8	Нет, форм передачи энергии много, например, механическая, электрическая, химическая и. т.п.
	Да, это теплота и работа.
	Энергообмен не подразделяют на какие-либо формы.
	Нет, выделяют 3 формы энергообмена: теплота, механическая работа и немеханическая работа.
№ 9	Какой процесс наиболее предпочтителен для нагрева газа с минимальным расходом энергии?
№ 9	Изохорический
	Изобарический
	Адиабатный
	Изотермический
№ 9	Дать правильное определение понятия «Внутренняя энергия идеального газа»

	Сумма всех видов энергий молекул газа
	Сумма кинетических энергий хаотического движения молекул и потенциальных энергий их взаимодействия
	Сумма кинетических энергий хаотического движения молекул
№ 10	Кинетическая энергия поступательного движения газа Является ли изобарный процесс наиболее работоспособным из перечня основных процессов?
	Да, это наиболее работоспособный процесс
	Нет, по работоспособности он не является таковым, уступая только адиабатному процессу.
	Нет, наиболее работоспособным из перечня политропных процессов является изотермический процесс.
	Изобарный процесс вообще не совершает работу.
<b>ОПК-5</b>	
	<i>Вопросы открытого типа:</i>
№ 1	Что является предметом курса классической теоретической Механики Жидкости и Газа (МЖГ)
№ 2	Какие постулаты всегда принимаются в классической теоретической Механике Жидкости и Газа (МЖГ)?
№ 3	Какие постулаты позволяют использовать механику Ньютона в Механике Жидкости и Газа (МЖГ)?
№ 4	Описание течения жидкостей и газов с помощью полей параметров происходит в методе ____
№ 5	Описание течения жидкостей и газов через описание движения индивидуальных жидких элементарных частиц происходит в методе ____
№ 6	Что позволяет использовать постулат (гипотеза) сплошности в Механике Жидкости и Газа (МЖГ)
№ 7	Скорость объемного расширения несжимаемой жидкости (газа) равна ____
№ 8	Что следует из модели вязкого газа (вязкой ньютоновской жидкости), если среда покоится или движется как абсолютно твердое тело?
№ 9	При выполнении интеграла адиабаты Лапласа-Пуассона вдоль линии тока энтропия ____
№ 10	Течение газа в сопле Лаваля на сверхкритическом режиме является ____
	<i>Вопросы закрытого типа:</i>
№ 1	Что является предметом курса классической теоретической Механики Жидкости и Газа (МЖГ)
	Раздел механики, в котором изучаются законы движения и равновесия жидкостей и газов
	Раздел механики, в котором изучаются законы равновесия течений жидкостей и газов с обтекаемыми поверхностями тел
	Раздел механики, в котором изучаются физические и химические процессы, протекающие в жидкостях и газах
	Раздел механики, в котором изучаются фазовые переходы между жидкостями и газами
№ 2	Какие постулаты всегда принимаются в классической теоретической Механике Жидкости и Газа (МЖГ)

	Евклидовость пространства
	Абсолютность времени
	Сплошность среды
	Стационарность течения
№ 3	<p>Учет вязкости среды на основе модели ньютоновской жидкости</p> <p>Что позволяют использовать постулаты о евклидовости пространства и абсолютности времени</p> <p>Использовать механику Ньютона</p> <p>Зависимость координат пространства от времени и скорости движения</p>
№ 4	<p>Специальную теорию относительности</p> <p>Что позволяет использовать постулат (гипотеза) сплошности</p> <p>Непрерывность полей параметров газодинамических функций и аппарат математического анализа</p> <p>Молекулярнокинетическую теорию</p>
№ 5	<p>Принцип обратимости движения</p> <p>Дополнительно к трем основным постулатам МЖГ принимается гипотеза о справедливости классической термодинамики, что это означает и чем позволяет пользоваться</p> <p>Время прихода элементарной жидкой частицы в термодинамическое равновесие много меньше времени заметного изменения газодинамических параметров при ее движении. Можно считать, что среда в частице находится в термодинамическом равновесии и использовать законы классической термодинамики</p> <p>Время прихода элементарной жидкой частицы в термодинамическое равновесие много больше времени заметного изменения газодинамических параметров при ее движении. Можно считать, что среда в частице находится в термодинамическом равновесии и использовать законы классической термодинамики</p>
№ 6	<p>Каким критериям отвечает вводимый в постулате сплошности физический бесконечномалый объем (элементарная жидкая частица)</p> <p>Это объем, который содержит настолько много молекул, чтобы средние характеристики (плотность и другие) были устойчивы к изменению этого объема</p> <p>Это объем, размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с размером характерного газодинамического течения <math>L</math>, так что его средние характеристики (плотность и другие) не зависят от размера этого объема</p> <p>Число Кнудсена <math>Kn \ll 1</math></p> <p>Характерный размер течения <math>L</math> должен быть величиной порядка длины свободного пробега молекул</p>
№ 7	<p>Количество молекул в объеме должно быть не менее 1 миллиона</p> <p>Симметричность тензора напряжений является строгим следствием выполнения какого закона</p> <p>Закона изменения момента количества движения</p> <p>Закона изменения количества движения</p>
№ 8	<p>Закона изменения (сохранения) энергии</p> <p>Симметричность тензора напряжений является строгим следствием выполнения какого закона</p>

- Закона изменения момента количества движения
- Закона изменения количества движения
- Закона изменения (сохранения) энергии
- № 9 Как определяется точка пространства в модели сплошной среды?
- Как минимальный объём, в котором содержится огромное количество молекул и, как следствие этого, все параметры среды однозначно определены
- Как объём, в котором в разные моменты времени может как присутствовать, так и отсутствовать вещество среды
- Как точка среды, в которой в данный момент времени присутствует вещество среды
- № 10 Как математическая точка (геометрический объект, не имеющий размеров)
- Соотнесите названия и их определения
1. Сжимаемая среда
  2. Несжимаемая среда
- А. Среда, в которой масса вещества в единице объема может изменяться
- Б. Среда, в которой масса вещества в единице объема постоянна
- В. Среда, в которой давление и температура постоянны
- Г. Среда, в которой давление постоянно