

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Направление/специальность подготовки	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
Специализация/профиль/программа подготовки	Пилотируемые и автоматические космические аппараты и системы
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	АЭ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ
Кафедра-разработчик рабочей программы	АЭ 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	4	144	68	34	17	17	76	0	0	76	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: 2025

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

А3 КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ И ДВИГАТЕЛИ

Заведующий кафедрой Бабук 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 — 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

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: **ВНУТРИКАМЕРНЫЕ ПРОЦЕССЫ ДУ, ДВИГАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ, ИСПЫТАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ КА, КОНСТРУИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ 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 4 з.е., 144 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	Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики. Аэрогидрогазодинамика как раздел механики. Задачи, решаемые аэрогидрогазодинамикой. Разделы аэрогидрогазодинамики.	8	2	2	0	0	6	10	10
3	5	Раздел 2. Основные понятия и определения. 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 (изэнтропические) течения. Внутренняя энергия и энтальпия газовых потоков.	14	6	4	0	2	8	12	12
3	5	Раздел 3. Уравнение неразрывности. Формулировка закона сохранения массы жидкой частицы. Дивергенция скорости – скорость объемной деформации жидкой частицы. Критерий сжимаемости и несжимаемости потока.	11	3	2	0	1	8	12	12
3	5	Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера). 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).	16	6	4	0	2	10	10	10
3	5	Раздел 5. Уравнение энергии. Понятие линии и струйки тока. Полная энергия движущегося газа. Закон энергии для струйки тока. Случай изэнтропического течения – уравнение Бернулли.	13	3	2	0	1	10	10	10
3	5	Раздел 6. Изэнтропические течения газа. Система уравнений движения изэнтропического течения совершенного газа. Скорость звука. До- и сверхзвуковые течения. Число Маха. Газодинамические функции.	11	3	2	0	1	8	10	10
3	5	Раздел 7. Изэнтропические течения несжимаемого газа. 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.	23	15	6	6	3	8	12	12
3	5	Раздел 8. Изэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах). 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.	23	15	6	5	4	8	12	12
3	5	Раздел 9. Неизэнтропические течения сжимаемого газа. 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.	25	15	6	6	3	10	12	12
Всего за 5 семестр			144	68	34	17	17	76	100	100
Всего по дисциплине			144	68	34	17	17	76	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
Всего за 5 семестр			17

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).	Истечения газа из сосуда конечного объема.	2
4		Течения газа по соплу Лаваля	3
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.	6

2	Раздел 2. Раздел 2. Основные понятия и определения.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	5
3		Подготовка к практическим занятиям	3
4	Раздел 3. Уравнение неразрывности.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	5
5		Подготовка к практическим занятиям	3
6	Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	6
7		Подготовка к практическим занятиям	4
8	Раздел 5. Уравнение энергии.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	6
9		Подготовка к практическим занятиям	4
10	Раздел 6.	Подготовка к практическим занятиям	3
11	Изоэнтропические течения газа.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	5
12	Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	5
13		Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	3
14	Раздел 8.	Оформление отчетов для защиты ЛР	2
15	Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).	Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	4
16		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	2
17	Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа.	Оформление отчетов для защиты ЛР	3
18		Подготовка к практическим и лабораторным занятиям.	4
19		Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	3
Всего за 5 семестр			76

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://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
4. 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 - 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 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.

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 **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**34 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**76 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 68 ч. аудиторных занятий, и 76 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.
Раздел 1. Предмет аэрогидрогазодинамики.		
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) А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (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)	6
Итого по разделу 1		6
Раздел 2. Раздел 2. Основные понятия и определения.		
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)	5
Подготовка к практическим занятиям		3
Итого по разделу 2		8
Раздел 3. Уравнение неразрывности.		
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 (3) М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2.1)	5
Подготовка к практическим занятиям		3
Итого по разделу 3		8
Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).		
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)	6
Подготовка к практическим занятиям		4
Итого по разделу 4		10
Раздел 5. Уравнение энергии.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (2.3)	6

Подготовка к практическим занятиям	Д. В. Александров, А. Ю. Зубарев, Л. Ю. Исакова. . Прикладная гидродинамика: Москва: Юрайт, 2022 (4.5)	4
Итого по разделу 5		10
Раздел 6. Изозэнтропические течения газа.		
Подготовка к практическим занятиям	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (3.1, 3.2, 3.3)	3
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	С. В. Белов, Я. В. Кондров, Е. В. Осипов. . Гиперзвуковая аэродинамика: Оренбург: Изд-во ОГУ, 2017 (5)	5
Итого по разделу 6		8
Раздел 7. Изозэнтропические течения несжимаемого газа.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	И. А. Балаганский. . Основы баллистики и аэродинамики: Новосибирск: НГТУ, 2017 (6) М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (3.5)	5
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. 33 - 53)	3
Итого по разделу 7		8
Раздел 8. Изозэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).		
Оформление отчетов для защиты ЛР	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (6)	2
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. 53 - 77)	4
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.		2
Итого по разделу 8		8
Раздел 9. Неизозэнтропические течения сжимаемого газа.		
Оформление отчетов для защиты ЛР	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)	3
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)	4
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц по рекомендуемой литературе.	М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (4.1 - 4.4)	3
Итого по разделу 9		10

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.	8	2	2	0	0	6	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 2. Раздел 2. Основные понятия и определения.	14	6	4	0	2	8	12	12	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 3. Уравнение неразрывности.	11	3	2	0	1	8	12	12	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 4. Уравнения движения идеального газа (уравнения Эйлера).	16	6	4	0	2	10	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 5. Уравнение энергии.	13	3	2	0	1	10	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 6. Изоэнтропические течения газа.	11	3	2	0	1	8	10	10	Вопросы по разделу
3	5	Раздел 7. Изоэнтропические течения несжимаемого газа.	23	15	6	6	3	8	12	12	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР
3	5	Раздел 8. Изоэнтропические течения сжимаемого газа (течения в соплах).	23	15	6	5	4	8	12	12	Отчет по ЛР
3	5	Раздел 9. Неизоэнтропические течения сжимаемого газа.	25	15	6	6	3	10	12	12	Вопросы по разделу, Отчет по ЛР
Всего за 5 семестр			144	68	34	17	17	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	34	17	17	76	100	100	

Оценочные материалы по дисциплине АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА

ОПК-1 - Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности

№ 1 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между термином (левый столбец) с его определением (правый столбец)

- | | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| 1. Изоэнтропическое течение | А. Невязкое течение |
| 2. Идеальное течение | Б. Изотермическое течение |
| 3. Несжимаемое течение | В. Адиабатное течение |
| | Г. Течение с неизменной плотностью |
| | Д. Невязкое и адиабатное течение |

№ 2 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между приёмником давления (левый столбец) с его функционалом (правый столбец)

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Приёмник Пито | А. Измерение статического давления потока |
| 2. Приёмник Прандтля | Б. Измерение полного давления потока |
| 3. Приёмник Пито-Прандтля | В. Измерение разности полного и статического давлений потока |
| 4. Трубка Вентури | Г. Измерение разности статических давлений в потоке |
| | Д. Измерение атмосферного давления |

№ 3 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите последовательность действий при измерении аэродинамических сил на весах Прандтля

1. Вес грузов равен аэродинамической силе
2. Уравновесить весы при отсутствии потока
3. установить угол атаки модели в аэродинамической трубе
4. включить аэродинамическую трубу и установить необходимую скорость потока
5. Уравновесить весы при наличии потока, добавляя или убирая грузики с чашки весов
6. Умножить вес грузов на тарировочный коэффициент весов

№ 4 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите последовательность действий при измерении распределения давления по обтекаемой поверхности крыла с помощью U-образного манометра

1. Пересчитать по формуле для приемника Прандтля давление
2. снять значения разности высот в уровнях жидкости в манометре
3. установить угол атаки модели крыла в аэродинамической трубе
4. включить аэродинамическую трубу и установить необходимую скорость потока

5. Дождаться остановки в движении уровня жидкости в манометре
6. Измерить атмосферное давление в лаборатории
- № 5 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Деформация жидкой частицы это:
1. изменение объёма жидкой частицы под действием внешних сил
 2. изменение объёма жидкой частицы под действием внутренних сил
 3. изменение размеров жидкой частицы как под действием внутренних, так и внешних сил
 4. изменение формы и размеров жидкой частицы под действием внешних сил
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Число Маха потока в данной точке это:
1. отношение скорости потока в данной точке к скорости звука в заторможенном газе
 2. отношение скорости потока в данной точке к максимальной скорости потока
 3. отношение скорости потока в данной точке к скорости звука в этой же точке
 4. отношение скорости потока в данной точке к скорости звука при нормальных параметрах (1 атм, 00С)
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
Массовый расход газа через сечение канала это:
1. масса газа, проходящая через единицу площади сечения канала
 2. масса газа, проходящая через единицу площади сечения канала за единицу времени
 3. масса газа, проходящая за единицу времени через площадь сечения канала
 4. вес газа, проходящий через единицу площади сечения канала
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
Сжимаемое течение это:
1. течение с неизменной массой
 2. течение с неизменной плотностью
 3. течение с изменяющейся плотностью
 4. течение с изменяющимся объёмом
- № 9 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
При измерении скорости V течения воздуха в трубе диаметром $D=100$ мм получили численное значение 5 м/с. Определить режим течения воздуха по трубе
- № 10 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ
Физический смысл вязкого трения в газах. Объяснить почему с ростом температуры вязкость газов увеличивается?
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
Гидродинамический пограничный слой это:
1. область течения вблизи стенки, где скорость меняется от дозвуковой до звуковой (критической)
 2. область течения вблизи стенки, где скорость меняется от нуля до скорости звука

3. область течения вблизи стенки, где скорость меняется от нуля до скорости скорости невозмущенного стенкой потока
4. область течения вблизи стенки, где скорость меняется от скорости звука до скорости скорости невозмущенного стенкой потока
5. Область течения вблизи стенки, где ненулевые градиенты скорости течения
6. область течения вблизи стенки, где действуют силы вязкого трения

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

Скачок уплотнения это - поверхность, на которой:

1. все параметры течения меняются скачкообразно
2. полная энергия потока меняется скачкообразно
3. полная энергия потока меняется плавно
4. полное давление потока уменьшается скачкообразно
5. полное давление потока увеличивается скачкообразно

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 и запишите развернутый обоснованный ответ

Почему полное давление потока не может увеличиваться?

№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Почему статическое давление потока меньше полного давления потока?

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между режимом истечения из звукового сопла (левый столбец) с характеристиками потока на срезе сопла (правый столбец):

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Докритический режим | А. Число Маха =1, давление на выходе из сопла равно наружному давлению |
| 2. Критический режим | Б. Число Маха < 1, давление на выходе из сопла равно наружному давлению |
| 3. Сверхкритический режим | В. Число Маха = 1, давление на выходе из сопла больше наружного давления |
| | Г. Число Маха = 1, давление на выходе из сопла меньше наружного давления |
| | Д. Число Маха > 1, давление на выходе из сопла больше наружного давления |

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между понятием (левый столбец) и его определением (правый столбец):

- | | |
|--|---|
| 1. Установившееся (стационарное) течение | А. Все параметры течения неизменны во времени |
| 2. Неустановившееся течение | Б. Все параметры течения меняются во времени |
| 3. Квазистационарное течение | В. Параметры течения неизменны во времени в любой точке течения |

Г. В каждый момент времени соотношения между параметрами соответствуют стационарному течению

Д. Параметры течения меняются линейно во времени

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

Центр давления ЛА это:

1. точка приложения вектора тяги
2. точка приложения результирующей силы веса ЛА
3. точка, в которой давление равно атмосферному
4. точка приложения результирующей аэродинамической силы
5. точка приложения результирующей подъёмной силы
6. точка приложения результирующей силы лобового сопротивления

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

Момент тангажа равен нулю в случае:

1. когда центр давления находится перед центром тяжести ЛА
2. когда центр давления находится за центром тяжести ЛА
3. когда центр давления совпадает с центром тяжести
4. когда центр давления и центр тяжести максимально удалены друг от друга
5. когда на ЛА не действует подъёмная сила

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

Подъёмная сила крыла самолёта возникает вследствие:

1. разности сил веса газа над крылом и под крылом
2. разности сил трения на верхней и нижней поверхности крыла
3. разности сил давления на лобовой и кормовой частях крыла
4. разности сил давления на верхней и нижней частях крыла
5. разности скоростей обтекания верхней и нижней частей крыла

- № 8 Прочитайте текст и установите последовательность

При определении скоростного напора потока необходимо выполнить действия в следующей последовательности:

1. Получит средства индивидуальной защиты (СИЗ)
2. Пройти инструктаж по порядку работы на дозвуковой трубе
3. В соответствии с инструкцией под контролем сотрудника лаборатории провести измерения по трубке Пито-Прандтля
4. Пройти инструктаж по технике безопасности
5. Установить скорость потока в аэродинамической трубе в соответствии с инструкцией под контролем сотрудника лаборатории
6. Надеть СИЗ

7. Установить ППП в аэродинамической трубе соответствии с инструкцией под контролем сотрудника лаборатории

8. Изучить методическое пособие по работе с приёмником Пито-Прандтля (ППП)

9. Используя уравнение Бернулли вычислить скоростной напор

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

При работе на малой сверхзвуковой трубе учебной газодинамической лаборатории необходимо придерживаться следующей последовательности:

1. Получить средства индивидуальной защиты (СИЗ)

2. Пройти инструктаж по порядку работы на сверхзвуковой трубе

3. В соответствии с инструкцией под контролем сотрудника лаборатории провести измерения

4. Пройти инструктаж по технике безопасности

5. Закрыть все клапана и вентили в соответствии с инструкцией под контролем сотрудника лаборатории

6. Надеть СИЗ

7. Открыть все клапана и вентили в соответствии с инструкцией под контролем сотрудника лаборатории

8. Изучить методическое пособие по данной лабораторной работе

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

Возможно ли сверхзвуковое течение за скачком?

1. да, только за косым скачком при определённых углах наклона скачка

2. да, только за прямым скачком

3. да, как за прямым, так и за косым скачками

4. нет

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

1. **Подъёмная сила, действующая на ЛА:**

1. действует в направлении противоположном весу ЛА

2. действует в направлении перпендикулярном хорде крыла

3. по направлению вектора скорости набегающего потока

4. в направлении перпендикулярном вектору скорости набегающего потока

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

Сила лобового сопротивления, действующая на ЛА:

1. действует в направлении противоположном весу ЛА

2. действует в направлении перпендикулярном хорде крыла

3. по направлению вектора скорости набегающего потока

4. в направлении перпендикулярном вектору скорости набегающего потока