

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_ Левихин А.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Направление/специальность подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Цифровые технологии создания двигателей и энергетических установок
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космическая техника
Выпускающая кафедра	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Кафедра-разработчик рабочей программы	А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
3	6	4	144	68	17	17	34	76	36	0	40	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.03.05 Двигатели летательных аппаратов**

год набора группы: 2026

Программу составили:

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

\_\_\_\_\_

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА  
Лаптинская Мария Михайловна, старший преподаватель

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА**

Заведующий кафедрой Тетерина И.В., к.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

## **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 использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-5**

*знания:*

фундаментальных разделов естественнонаучного и профессионального циклов для понимания физической сущности рабочих процессов энергетических установок авиационной и ракетно-космической техники.;

*умения:*

решать задачи авиационной и ракетно-космической техники с учетом аэродинамических и баллистических параметров.;

*навыки:*

анализа влияния различных параметров на эксплуатационные характеристики авиационной и ракетно-космической техники..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ФИЗИКА, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА, ТЕРМОДИНАМИКА, АЭРОГИДРОГАЗОДИНАМИКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ.**

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА, УНИРС, МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ДВИГАТЕЛЯХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ.**

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общетехнические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности
- ОПК-5 — Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники
- ПК-3.2 — Способен разрабатывать физические и математические модели совокупности процессов гидрогазодинамики и теплообмена
- ПК\*-3.4 — Способен проводить исследования в области гидрогазодинамических процессов и процессов теплообмена с использованием современных информационных технологий, готовность к профессиональной эксплуатации современных средств вычислительного моделирования

### 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		
3	6	<b>Раздел 1. Введение в проблему термогазодинамического проектирования.</b> Постановка задач аэродинамики ЛА. Расширение трактовки задач аэродинамики. История развития аэродинамики. Методы и средства. Примеры современных экспериментальных комплексов и труб. Вычислительный эксперимент. Примеры решения задач методами CFD. САПР. Оптимизация в проектировании. CAD-CAE технологии.	10	6	2	0	4	4	5
3	6	<b>Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.</b> Силы и моменты действующие на ЛА в полете. Основные аэродинамические схемы летательных аппаратов. Аэродинамические коэффициенты. Общие выражения для аэродинамических коэффициентов. Производные аэродинамических коэффициентов. Статические и вращательные коэффициенты. Основные зависимости для коэффициентов сил и моментов.	9	5	1	2	2	4	5
3	6	<b>Раздел 3. Математические модели ЛА.</b> Анализ простейших движений ЛА (горизонтальный полет, планирование, координированный разворот, аэродинамика пилотажа - бочка, иммельман, штопор, горка). Статическая устойчивость и демпфирование. Устойчивость движения и управление полетом.	20	10	2	4	4	10	0
3	6	<b>Раздел 4. Аэродинамика крыла.</b> Геометрические характеристики крыла. Крыло бесконечного размаха, механизм возникновения подъемной силы. Крыло конечного размаха, несущая линия Прандтля. Исторические мотивы. Жуковский - Чаплыгин. Присоединенные и свободные вихри. Индуктивное сопротивление. Аэродинамические аспекты механизации крыла. Методы учета сжимаемости. Крыло в околосзвуковом потоке, критический Мах, волновое сопротивление. Звуковой барьер. Крыло в сверхзвуковом потоке. Закон площадей.	10	4	2	0	2	6	10
3	6	<b>Раздел 5. Аэродинамика корпуса.</b> Аэродинамическая интерференция. Вопросы теплообмена.	15	8	1	3	4	7	10
3	6	<b>Раздел 6. Отрывные и вихревые течения.</b> Общая картина отрыва. Классификация отрывных течений. Схемы основных течений – прямая и обратная ступеньки, каверны, отрыв в сопле, вдув и отрыв. Методы расчета отрывных течений. Дискретные вихри, интегральные методы, прямое численное моделирование, асимптотические методы, инженерные методики. Примеры расчета донного давления на основе схемы Корста. Инженерные методы расчета отрыва при падении скачка уплотнения с пограничным слоем. Трехмерный отрыв. Классификация точек отрыва трехмерного пограничного слоя. Линии стекания и растекания. Седла и фокусы. Пограничный слой на скользящем крыле. Аэродинамика трехмерного пограничного слоя. Теплообмен при отрывном обтекании.	16	10	2	4	4	6	10
3	6	<b>Раздел 7. Органы управления.</b> Аэродинамика органов управления. Аэродинамика воздухозаборников. Эжекция и инжекция.	10	6	2	0	4	4	10
3	6	<b>Раздел 8. Сопло.</b> Конструктивные схемы сопловых блоков. Газодинамика сопла.	9	5	1	0	4	4	10
3	6	<b>Раздел 9. Аэродинамика спускаемых аппаратов и баллистических ракет.</b> Задачи выведения и их аэродинамическое и тепловое обеспечение. Классификация спускаемых аппаратов. Система уравнений динамики входа. Перегрузки и тепловое взаимодействие с атмосферой. Коридор входа. Тепловая защита в задачах входа и возвращения. Классификация методов теплозащиты. Физические основы различных методов теплозащиты и их математическое обеспечение.	14	10	2	4	4	4	10
3	6	<b>Раздел 10. Аэротермоупругость и нестационарные режимы.</b> Классификация аэротермоупругих явлений. Упругие характеристики элементов ЛА. Статическая аэроупругость. Дивергенция крыла. Реверс органов управления. Динамическая аэроупругость. Флаттер. Простейшие модели флаттера. Изгибо-крутильный и изгибоэлеронный флаттер. Бафтинг. Галопирование. Шимми.	8	4	2	0	2	4	10
3	6	<b>Раздел 11. Курсовой проект.</b> Написание курсового проекта по индивидуальному заданию.	23	0	0	0	0	23	20
<b>Всего за 6 семестр</b>			144	68	17	17	34	76	100
<b>Всего по дисциплине</b>			144	68	17	17	34	76	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение в проблему термогазодинамического проектирования.	Пакеты программ инженерного анализа. Этапы вычислительного моделирования термогазодинамических процессов.	4
2	Раздел 2. Системы	Аэродинамические силы, моменты и их коэффициенты.	2

	координат, используемые в аэродинамике.	Основные зависимости для коэффициентов. Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	
3	Раздел 3. Математические модели ЛА.	Рассмотрение примеров и решение практических задач в области термогазодинамического проектирования	4
4	Раздел 4. Аэродинамика крыла.	Геометрические характеристики крыла. Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	2
5	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
6	Раздел 6. Отрывные и вихревые течения.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
7	Раздел 7. Органы управления.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
8	Раздел 8. Сопло.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
9	Раздел 9. Аэродинамика спускаемых аппаратов и баллистических ракет.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
10	Раздел 10. Аэротермоупругость и нестационарные режимы.	Формирование финального отчета по практическим работам за семестр.	2
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>34</b>

### 3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.	Траектория объектов в атмосфере Земли.	2
2	Раздел 3. Математические модели ЛА.	Анализ статической устойчивости ЛА.	4
3	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	Динамика полета ЛА	3
4	Раздел 6. Отрывные и вихревые течения.	Отрывное обтекание тел. Расчет на основе метода дискретных вихрей.	4
5	Раздел 9. Аэродинамика спускаемых аппаратов и баллистических ракет.	Расчет траектории движения трехступенчатой баллистической ракеты ARIAN	2
6		Аэродинамика и теплообмен при спуске с орбиты искусственного спутника Земли	2
Всего за 6 семестр			17

### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение в проблему термогазодинамического проектирования.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	4
2	Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	4
3	Раздел 3. Математические модели ЛА.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	10
4	Раздел 4. Аэродинамика	Проработка материалов практических занятий и учебно-	6

	крыла.	методической литературы.	
5	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по лабораторной работе.	7
6	Раздел 6. Отрывные и вихревые течения.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по ЛР	6
7	Раздел 7. Органы управления.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	4
8	Раздел 8. Сопло.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	4
9	Раздел 9. Аэродинамика спускаемых аппаратов и баллистических ракет.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	4
10	Раздел 10. Аэротермоупругость и нестационарные режимы.	Формирование финального отчета по практическим работам за семестр.	4
11	Раздел 11. Курсовой проект.	Выполнение курсового проекта по индивидуальному заданию. Анализ процессов и формирование математических моделей. Проведение проектирования и вычислительного моделирования. Анализ результатов. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации	23
<b>Всего за 6 семестр</b>			<b>76</b>

### 3.5. Курсовой проект

СОДЕРЖАНИЕ ЭТАПА	ПЕРИОД ИСПОЛНЕНИЯ (недели семестра)	ПЛАНИРУЕМОЕ ВРЕМЯ (час)
Этап 1. Обсуждение с руководителем содержания работы. Определение целей и постановка задач работы. Разработка плана работы над проектом	1 - 2	4
Этап 2. Анализ литературы по тематике курсового проекта. Анализ протекающих процессов и формирование математических моделей	3 - 7	12
Этап 3. Проведение вычислительного моделирования. Анализ результатов численного моделирования	8 - 15	14
Этап 4. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации	16 - 17	6
<b>Всего за 6 семестр</b>		<b>36</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			Отч. по ЛР	Отч. по ЛР	КВ	ДР		Отч. по ЛР	КВ	ДР	Отч. по ЛР		Отч. по ЛР	КВ	Отч. по ПЗ	ДР	КП

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Отч. по ЛР – отчет по ЛР;
- КВ – контрольные вопросы;
- Отч. по ПЗ – отчет по практическому заданию;
- КП – курсовой проект.

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

- диагностическая работа;
- отчет по ЛР;



- контрольные вопросы;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 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. Н. Э. Баумана, 2017, эл. рес.
2. А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017, эл. рес.
3. А. Н. Волков. . Расчёт аэродинамических и тепловых характеристик выпуклых тел в свободномолекулярном потоке газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004, 75 экз.
4. В. В. Сахин. . Устройство и действие энергетических объектов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
5. В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 241 экз.
6. В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем. Москва: Юрайт, 2020, эл. рес.
7. В. Т. Калугин. . Аэрогазодинамика органов управления полётом летательных аппаратов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, 16 экз.
8. Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, В. А. Бородавкин. . Аэродинамические характеристики летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, эл. рес.
9. И. П. Гинзбург. . Аэрогазодинамика. М.: Высшая школа, 1966, 120 экз.
10. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013, 8 экз.
11. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
12. М. Г. Моисеев. . Основы аэрогазодинамики. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.
13. М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, эл. рес.
14. М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013, эл. рес.
15. Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017, эл. рес.
16. 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.
17. С. М. Кривель. . Динамика полёта. Расчёт лётно-технических и пилотажных характеристик самолёта. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

1. О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Численное моделирование газовых смесей и двухфазных течений. СПб.: НИЦ АРТ, 2022, 1 экз.

### 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. <https://ibooks.ru/> — ЭБС Айбукс.ру - это большой выбор актуальной литературы для вашей библиотеки в электронном виде;
3. <http://www.tnt-ebook.ru/> — TNT-EBOOK - Электронно-библиотечная система;
4. <https://repository.library.voenmeh.ru/jsru/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
5. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;

<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

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. Интерактивная доска;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

### **6.3. Лабораторные занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Matlab 2015a SP1.

### **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 **ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космическая техника БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-5 Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением теоретических основ и сущности основных термогазодинамических процессов применительно к объектам авиационной и ракетно-космической техники, методов численного решения различного рода задач; анализа методов, причин и факторов, влияющих на теплоаэродинамические процессы.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- отчет по ЛР;
- контрольные вопросы;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**34 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.
<b>Раздел 1. Введение в проблему термогазодинамического проектирования.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	<p>М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (все)</p> <p>К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013 (все)</p> <p>А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (все)</p> <p>А. Н. Волков. . Расчёт аэродинамических и тепловых характеристик выпуклых тел в свободномолекулярном потоке газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (все)</p> <p>Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, В. А. Бородавкин. . Аэродинамические характеристики летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (все)</p>	4
Итого по разделу 1		4
<b>Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	<p>И. П. Гинзбург. . Аэрогазодинамика: М.: Высшая школа, 1966 (все)</p> <p>М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (все)</p>	4
Итого по разделу 2		4
<b>Раздел 3. Математические модели ЛА.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	<p>С. М. Кривель. . Динамика полёта. Расчёт лётно-технических и пилотажных характеристик самолёта: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (все)</p>	10
Итого по разделу 3		10

<b>Раздел 4. Аэродинамика крыла.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (10) В. Т. Калугин. . Аэрогазодинамика органов управления полётом летательных аппаратов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 (все)	6
Итого по разделу 4		6
<b>Раздел 5. Аэродинамика корпуса.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по лабораторной работе.	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (9)	7
Итого по разделу 5		7
<b>Раздел 6. Отрывные и вихревые течения.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по ЛР	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (6)	6
Итого по разделу 6		6
<b>Раздел 7. Органы управления.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	В. Т. Калугин. . Аэрогазодинамика органов управления полётом летательных аппаратов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 (все)	4
Итого по разделу 7		4
<b>Раздел 8. Сопло.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	В. В. Сахин. . Устройство и действие энергетических объектов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (все)	4
Итого по разделу 8		4
<b>Раздел 9. Аэродинамика спускаемых аппаратов и баллистических ракет.</b>		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 (12)	4
Итого по разделу 9		4
<b>Раздел 10. Аэротермоупругость и нестационарные режимы.</b>		
Формирование финального отчета по практическим работам за семестр.	А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (все) М. Г. Моисеев. . Основы аэрогазодинамики: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (все)	4
Итого по разделу 10		4
<b>Раздел 11. Курсовой проект.</b>		
Выполнение курсового проекта по индивидуальному заданию. Анализ процессов и формирование математических моделей. Проведение проектирования и вычислительного моделирования. Анализ результатов. Подготовка пояснительной записки, доклада и презентации	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (все) О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Численное моделирование газовых смесей и двухфазных течений: СПб.: НИЦ АРТ, 2022 (все)	23

	<p>О. К. Овчинникова, М. М. Лаптинская, И. В. Тетерина. . Решение прикладных задач термогидрогазодинамики в Ansys: СПб.: Изд-во БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2023 (все) В. В. Сахин, Е. М. Герлиман. . Термодинамика энергетических систем в примерах и задачах: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (все) В. Н. Емельянов. . Численные методы: введение в теорию разностных схем: Москва: Юрайт, 2020 (все) Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017 (все) М. С. Яковчук. . Вычислительные технологии решения задач механики жидкости и газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2013 (все)</p>	
Итого по разделу 11		23



## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- контрольные вопросы;
- отчет по ЛР;
- отчет по практическому заданию;
- курсовой проект;
- экзамен.

### 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.

#### Контрольные вопросы

Средство контроля усвоение учебного материала соответствующих разделов дисциплины.

Ответы на контрольные вопросы по разделам осуществляются в устной форме. Студенту задаются 3 вопроса в рамках изученного раздела.

Для успешной аттестации обучающемуся необходимо ответить правильно минимум на 2 вопроса. Ответ должен быть правильным, содержательным, аргументированным.

Перечень контрольных вопросов представлен в УМК дисциплины.

#### Отчет по ЛР

Допуск к выполнению ЛР происходит при представлении студентом в письменном виде описания, содержащего постановку задачи лабораторной работы, план выполнения лабораторной работы и цели предлагаемого исследования и в форме устного собеседования по тематике лабораторной работы. Ответы на более чем 50% вопросов является допуском к лабораторной работе.

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

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 лабораторной 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 лабораторной работы в лаборатории – 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 лабораторной работе.

#### Отчет по практическому заданию

Отчет представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета.

Оценивается полнота и качество оформления отчета, соответствие заданию, верность полученных результатов, способность их объяснить. Защита отчета проводится в форме собеседования с преподавателем, в ходе которого студент докладывает о проделанной работе и отвечает на вопросы.

Оценка защиты работы выставляется по 100 бальной шкале с учётом:

- выполнение работы в компьютерном классе – 20 баллов,

- оформление пояснительной записки – 30 баллов,
  - защита результатов, ответы на вопросы и их логика, культура речи – 50 баллов.
- Отчёт считается принятым при наборе более 70 баллов.

### **Курсовой проект**

Курсовой проект представляется в печатном виде в формате, соответствующим «Положению о порядке организации и проведения курсового проектирования обучающихся ...»

Защита курсового проекта проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы членов комиссии. В ходе защиты КП обучающиеся должны продемонстрировать культуру речи при изложении своих мыслей, логичность в постановке и изложении материала, необходимые начальные знания по существу обсуждаемой темы.

В случае, если оформление курсового проекта и поведение студента во время защиты соответствуют указанным требованиям, студент получает оценку:

- «отлично» выставляется при правильном выполнении курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 90 до 100%;
- «хорошо», выставляется при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 75 до 90%;
- «удовлетворительно» выставляется при незначительных ошибках в содержании курсового проекта, правильных ответов студента на вопросы преподавателя от 50 до 75%.
- «не защитил» выставляется, при значительных ошибках в содержании курсового проекта, при допущении принципиальных ошибок в ответах на вопросы преподавателя - правильных ответов менее 50%.

Курсовой проект не может быть принят и подлежит переработке в случае:

- несоответствия заданию на курсовое проектирование;
- отсутствия необходимых разделов,
- отсутствия необходимого графического материала,
- некорректной обработки результатов вычислений.

Примеры тематик для курсового проектирования представлены в УМК дисциплины.

### **Экзамен**

Допуск к экзамену возможен только при условии получения положительной оценки (отлично, хорошо или удовлетворительно) за защиту курсового проекта.

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

Знания, умения и навыки студентов оцениваются следующим образом:

- оценки «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 «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 «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «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 «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 «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 «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» 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	Лабораторный практикум	Практические занятия		ОПК-5	
3	6	Раздел 1. Введение в проблему термогазодинамического проектирования.	10	6	2	0	4	4	5	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.	9	5	1	2	2	4	5	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 3. Математические модели ЛА.	20	10	2	4	4	10	0	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 4. Аэродинамика крыла.	10	4	2	0	2	6	10	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	15	8	1	3	4	7	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 6. Отрывные и вихревые течения.	16	10	2	4	4	6	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 7. Органы управления.	10	6	2	0	4	4	10	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 8. Сопло.	9	5	1	0	4	4	10	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 9. Аэродинамика спускаемых аппаратов и баллистических ракет.	14	10	2	4	4	4	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 10. Аэротермоупругость и нестационарные режимы.	8	4	2	0	2	4	10	Отчет по практическому заданию
3	6	Раздел 11. Курсовой проект.	23	0	0	0	0	23	20	Курсовой проект
Всего за 6 семестр			144	68	17	17	34	76	100	
Всего по дисциплине			144	68	17	17	34	76	100	

## Оценочные материалы по дисциплине ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**ОПК-5 - Способен использовать современные подходы и методы решения профессиональных задач в области авиационной и ракетно-космической техники**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Что такое гидродинамический пограничный слой?

№ 2 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между этапами CFD-моделирования и их описаниями:

- |   |  |
|---|--|
| 1.<br>Формулировка<br>физической<br>задачи  | A. Задание параметров среды и объектов     |
| 2. Постановка<br>граничных<br>условий       | B. Вычисление поля скоростей и давления    |
| 3. Численное<br>решение<br>уравнений        | C. Выбор типа течения и законов сохранения |
| 4.<br>Интерпретация<br>полученных<br>данных | D. Оценка точности и надежности результата |

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Соответствие элементов крыла и их функций

Элемент крыла      Функция

- |                               |  |
|-------------------------------|--|
| 1. Закрылок                   | A. Увеличение подъемной силы на взлете и посадке     |
| 2. Элерон                     | B. Управление креном самолета                        |
| 3. Лонжерон                   | C. Основной силовой элемент, воспринимающий нагрузки |
| 4. Киль                       | D. Обеспечение путевой устойчивости                  |
| E. Создание подъемной силы    |  |
| F. Посадка и руление на земле |  |

№ 4 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите этапы проектирования ЛА в правильном порядке (повышенный):

1. Эскизное проектирование.
2. Предварительное проектирование (НИР).
3. Техническое проектирование (ОКР).
4. Анализ результатов и корректировка.

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Установите порядок действий при аэродинамическом анализе крыла:

1. Построение 3D-модели крыла в CAD-системе.
2. Задание угла атаки и скорости потока.
3. Запуск CFD-расчета.

4. Анализ распределения давления на поверхности.
5. Сравнение с экспериментальными данными аэродинамической трубы.
- № 6 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Какое условие на стенке задается для скорости вязкой жидкости?
- А) Нулевое давление
- В) Нулевая скорость (условие прилипания)
- С) Постоянная температура
- Д) Свободный проскальзывание
- № 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Геометрическая модель это:
1. Совокупность правил построения эскиза
2. Изображение (модель) исследуемого объекта
3. Фотография реального объекта
4. Совокупность точек и границ объекта
- № 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа  
Что такое вычислительная сетка?
1. Численное решение задачи в двумерной постановке
2. Совокупность элементов, образованных разделением расчетной области
3. Границы расчетной области
4. Набор поверхностей, где задаются краевые условия
- № 9 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ  
Каково соотношение давлений в окружающей среде и на срезе сопла двигателя при реализации режима истечения продуктов сгорания с перерасширением?
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Какие из перечисленных величин являются критериями подобия? (Выберите 3)
- А) Число Маха ( $Ma$ )
- В) Ускорение свободного падения ( $g$ )
- С) Число Рейнольдса ( $Re$ )
- Д) Плотность жидкости ( $\rho$ )
- Е) Число Прандтля ( $Pr$ )
- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов  
Для чего в методе RANS используются модели турбулентности?
1. Для определения связи между тензором рейнольдсовых напряжений и параметрами осреднённого потока
2. Для определения тензора скоростей деформации
3. Для замещения уравнения состояния

4. Для описания пограничного слоя с несколькими вариантами ответа, два из которых правильные

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

Что верно относительно абсолютного давления (ата)?

1. Абсолютное давление отсчитывается от полного вакуума.
2. Абсолютное давление равно давлению столба ртути высотой 760 мм на уровне моря при температуре  $+15^{\circ}\text{C}$  и стандартном атмосферном давлении.
3. Абсолютное давление — это разница между избыточным давлением и атмосферным давлением.
4. Все приведённые варианты правильные.