

УТВЕРЖДАЮ
 Декан факультета

_____ Левихин А.А.

« ____ » _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Направление/специальность подготовки	24.03.05 Двигатели летательных аппаратов
Специализация/профиль/программа подготовки	Авиационная и ракетно-космическая теплотехника
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
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: 2025

Программу составили:

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

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Лаптинская Мария Михайловна, ассистент

Кафедра А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА
Каун Юлия Владимировна, 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

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ 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

ПК-1.2 — Способен разрабатывать физические и математические модели процессов, а также выполнять расчеты параметров рабочего процесса, теплового состояния и характеристик двигателей и энергоустановок летательных аппаратов

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 аэродинамических и баллистических параметров на эксплуатационные характеристики авиационной и ракетно-космической техники.;

ПК-1.2

знания:

основных физических свойств жидкостей и газов, общие законы и уравнения статики, кинематики и динамики жидкостей и газов, особенности физического и математического моделирования одномерных, двумерных и трехмерных, дозвуковых и сверхзвуковых, ламинарных и турбулентных течений идеальной и реальной несжимаемой и сжимаемой жидкостей;

законов и основных физико-математических моделей переноса теплоты и массы применительно к аэродинамическим и теплотехническим объектам и системам.;;

умения:

использовать математический аппарат и информационные технологии при изучении процессов, протекающих в двигателях и энергоустановках летательных аппаратов

анализировать результаты решения конкретных задач с целью построения более совершенных моделей;

анализировать результаты эксперимента с привлечением методов математической статистики и информационных технологий.;;

навыки:

теоретического и вычислительного исследования явлений различной физической природы в области теплообмена и аэродинамики.;

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ 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, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА, УСТРОЙСТВО, ОСНОВЫ ТЕОРИИ И КОНСТРУКЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ ПРОЦЕССОВ, МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ CAD/CAM/CAE-СИСТЕМ, НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА, УНИРС**.

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
- ОПК-6 — Способен анализировать, систематизировать и обобщать информацию о современном состоянии и перспективах развития отрасли двигателестроения и энергетической техники
- ПК-1.1 — Способен использовать знания фундаментальных разделов естественнонаучного и профессионального циклов для понимания физической сущности рабочих процессов энергетических установок авиационной и ракетно-космической техники

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-5	ПК-1.2
3	6	Раздел 1. Введение в проблему аэродинамического и теплового проектирования ЛА. 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-CAM-CAE технологии.	10	6	2	0	4	4	5	5
3	6	Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике. 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.	7	3	1	0	2	4	5	5
3	6	Раздел 3. Система уравнений динамики полета. Математические модели ЛА. Анализ простейших движений ЛА (горизонтальный полет, планирование, координированный разворот, аэродинамика пилотажа - бочка, иммельман, штопор, горка). Статическая устойчивость и демпфирование. Устойчивость движения и управление полетом.	16	8	2	4	2	8	10	10
3	6	Раздел 4. Аэродинамика крыла. 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.	16	8	2	2	4	8	10	10
3	6	Раздел 5. Аэродинамика корпуса. Аэродинамическая интерференция. Вопросы теплообмена.	14	7	1	2	4	7	10	10
3	6	Раздел 6. Аэродинамика отрывных течений. 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	10
3	6	Раздел 7. Аэродинамика органов управления. Аэродинамика воздухозаборников. Эжекция и инжекция.	10	6	2	0	4	4	10	10
3	6	Раздел 8. Сопло. Конструктивные схемы сопловых блоков. Газодинамика сопла.	9	5	1	0	4	4	10	10
3	6	Раздел 9. Аэродинамика спуска с орбиты и возвращения. 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.	19	11	2	5	4	8	10	10
3	6	Раздел 10. Аэроупругость и нестационарные режимы. 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	10
3	6	Раздел 11. Курсовой проект. Написание курсового проекта по индивидуальному заданию.	19	0	0	0	0	19	10	10
Всего за 6 семестр			144	68	17	17	34	76	100	100
Всего по дисциплине			144	68	17	17	34	76	100	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Введение в проблему	Пакеты программ инженерного анализа. Этапы вычислительного моделирования теплоаэродинамических	4

	аэродинамического и теплового проектирования ЛА.	процессов. Примеры решения задач	
2	Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.	Аэродинамические силы, моменты и их коэффициенты. Основные зависимости для коэффициентов. Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	2
3	Раздел 3. Система уравнений динамики полета. Математические модели ЛА.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	2
4	Раздел 4. Аэродинамика крыла.	Геометрические характеристики крыла. Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
5	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
6	Раздел 6. Аэродинамика отрывных течений.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
7	Раздел 7. Аэродинамика органов 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 спуска с орбиты и возвращения.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	4
10	Раздел 10. Аэроупругость и нестационарные режимы.	Рассмотрение примеров и решение практических задач, направленных на изучение данного раздела	2
Всего за 6 семестр			34

3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 3. Система уравнений динамики полета.	Лабораторная работа № 1. Анализ статической устойчивости ЛА.	2
2	Математические модели ЛА.	Лабораторная работа № 2. Исследование возмущенного продольного движения ЛА. Переходные и частотные характеристики.	2
3	Раздел 4. Аэродинамика крыла.	Лабораторная работа № 3. Потенциальное обтекание крыла бесконечного размаха: построение профиля Жуковского, определение циркуляции, обеспечивающей безотрывный сход потока, построение картины обтекания профиля	2
4	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	Лабораторная работа № 4. Расчет сверхзвукового обтекания конуса с присоединенным скачком уплотнения.	2
5	Раздел 6. Аэродинамика отрывных течений.	Лабораторная работа № 5. Расчет донного давления при обтекании обратной ступеньки. Схема Корста.	2
6		Лабораторная работа № 6. Отрывное обтекание тел. Расчет на основе метода дискретных вихрей.	2
7	Раздел 9. Аэродинамика спуска с орбиты и возвращения.	Лабораторная работа № 7. Расчет траектории движения трехступенчатой баллистической ракеты ARIAN	3
8		Лабораторная работа № 8. Аэродинамика и теплообмен при спуске с орбиты искусственного спутника Земли.	2
Всего за 6 семестр			17

3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

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

п/п	наименование раздела дисциплины		часов
1	Раздел 1. Введение в проблему аэродинамического и теплового проектирования ЛА.	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. Система уравнений динамики полета. Математические модели ЛА.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	8
4	Раздел 4. Аэродинамика крыла.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по лабораторной работе.	8
5	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по лабораторной работе.	7
6	Раздел 6. Аэродинамика отрывных течений.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	6
7	Раздел 7. Аэродинамика органов 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 спуска с орбиты и возвращения.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	4
10		Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	4
11	Раздел 10. Аэроупругость и нестационарные режимы.	Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	4
12	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	19
Всего за 6 семестр			76

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	16 - 17	6

презентации		
Всего за 6 семестр		36

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	ДР		Отч. по ЛР		Отч. по ЛР	КВ	ДР	КП	

Условные обозначения:

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

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

- диагностическая работа;
- отчет по ЛР;
- контрольные вопросы;
- 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. Баумана. Золотая коллекция, 2017, эл. рес.
2. А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010, 32 экз.
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. Т. Калугин. . Аэрогазодинамика органов управления полётом летательных аппаратов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, 16 экз.
6. Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, В. А. Бородавкин. . Аэродинамические характеристики летательных аппаратов. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003, 120 экз.
7. И. П. Гинзбург. . Аэрогазодинамика. М.: Высшая школа, 1966, 120 экз.
8. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012, 63 экз.
9. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008, 7 экз.
10. К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017, 50 экз.
11. М. Г. Моисеев. . Трение и теплообмен в аэродинамике. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010, 81 экз.
12. М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006, 175 экз.
13. Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17. М.: ДМК Пресс, 2017, эл. рес.
14. С. М. Кривель. . Динамика полёта. Расчёт лётно-технических и пилотажных характеристик самолёта. СПб.: Лань, 2018, 15 экз.

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. <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/jspui/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
5. <https://urait.ru/> — Главная – 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 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

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

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

6.3. Лабораторные занятия:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced;
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 **АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.03.05 Двигатели летательных аппаратов*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А9 ПЛАЗМОГАЗОДИНАМИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

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

ПК-1.2 Способен разрабатывать физические и математические модели процессов, а также выполнять расчеты параметров рабочего процесса, теплового состояния и характеристик двигателей и энергоустановок летательных аппаратов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением теоретических основ и сущности основных аэродинамических и тепловых 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;
- 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.
Раздел 1. Введение в проблему аэродинамического и теплового проектирования ЛА.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (все) Г. А. Акимов, В. А. Зазимко, В. А. Бородавкин. . Аэродинамические характеристики летательных аппаратов: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2003 (все) А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (все) А. Н. Волков. . Расчёт аэродинамических и тепловых характеристик выпуклых тел в свободномолекулярном потоке газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (все)	4
Итого по разделу 1		4
Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	И. П. Гинзбург. . Аэрогазодинамика: М.: Высшая школа, 1966 (все) А. Г. Голубев, А. С. Епихин А.С., В. Т. Калугин. Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (1) М. Г. Моисеев, Ю. М. Циркунов. . Основы аэрогазодинамики: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2006 (все)	4
Итого по разделу 2		4
Раздел 3. Система уравнений динамики полета. Математические модели ЛА.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	С. М. Кривель. . Динамика полёта. Расчёт лётно-технических и пилотажных характеристик самолёта: СПб.: Лань, 2018 (все)	8
Итого по разделу 3		8

Раздел 4. Аэродинамика крыла.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по лабораторной работе.	А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (10) В. Т. Калугин. . Аэрогазодинамика органов управления полётом летательных аппаратов: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004 (все)	8
Итого по разделу 4		8
Раздел 5. Аэродинамика корпуса.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчета по лабораторной работе.	А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (9)	7
Итого по разделу 5		7
Раздел 6. Аэродинамика отрывных течений.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы. Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (6)	6
Итого по разделу 6		6
Раздел 7. Аэродинамика органов управления.		
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
Раздел 8. Сопло.		
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
Раздел 9. Аэродинамика спуска с орбиты и возвращения.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (12) А. Н. Волков. . Расчёт аэродинамических и тепловых характеристик выпуклых тел в свободномолекулярном потоке газа: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (все)	4
Подготовка отчетов по 2-м лабораторным работам.	СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2004 (все)	4
Итого по разделу 9		8
Раздел 10. Аэроупругость и нестационарные режимы.		
Проработка материалов практических занятий и учебно-методической литературы.	А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (13)	4
Итого по разделу 10		4
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	А. Г. Голубев, В. Т. Калугин, А. Ю. Луценко. . Аэродинамика: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 (все) Н. Н. Фёдорова, С. А. Вальгер, М. Н. Данилов. . Основы работы в ANSYS 17: М.: ДМК Пресс, 2017	19

	<p>(все)</p> <p>К. Н. Волков, В. Н. Емельянов, И. В. Тетерина. . Газовые течения в соплах энергоустановок: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017 (все)</p> <p>М. Г. Моисеев. . Трение и теплообмен в аэродинамике: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2010 (все)</p> <p>К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Моделирование крупных вихрей в расчётах турбулентных течений: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008 (все)</p> <p>К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. . Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012 (все)</p>	
Итого по разделу 11		19

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

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

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	ПК-1.2	
3	6	Раздел 1. Введение в проблему аэродинамического и теплового проектирования ЛА.	10	6	2	0	4	4	5	5	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 2. Системы координат, используемые в аэродинамике.	7	3	1	0	2	4	5	5	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 3. Система уравнений динамики полета. Математические модели ЛА.	16	8	2	4	2	8	10	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 4. Аэродинамика крыла.	16	8	2	2	4	8	10	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 5. Аэродинамика корпуса.	14	7	1	2	4	7	10	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 6. Аэродинамика отрывных течений.	16	10	2	4	4	6	10	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 7. Аэродинамика органов управления.	10	6	2	0	4	4	10	10	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 8. Сопло.	9	5	1	0	4	4	10	10	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 9. Аэродинамика спуска с орбиты и возвращения.	19	11	2	5	4	8	10	10	Отчет по ЛР
3	6	Раздел 10. Аэроупругость и нестационарные режимы.	8	4	2	0	2	4	10	10	Контрольные вопросы
3	6	Раздел 11. Курсовой проект.	19	0	0	0	0	19	10	10	Курсовой проект
Всего за 6 семестр			144	68	17	17	34	76	100	100	
Всего по дисциплине			144	68	17	17	34	76	100	100	

**Оценочные материалы по дисциплине АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ И ТЕПЛОВОЕ
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 запишите развернутый обоснованный ответ

Что такое
сеточная
сходимость?

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие
Соответствие типов двигателей и их характеристик

Тип двигателя Характеристика

1. Турбореактивный (ТРД) А. Высокая тяга на дозвуковых скоростях, используется в гражданской авиации
2. Прямоточный (ПВРД) В. Оптимален для гиперзвуковых скоростей, не имеет компрессора
3. Турбовинтовой (ТВД) С. Высокий КПД на малых скоростях, оснащен воздушным винтом
4. Ракетный (РД) D. Работает без атмосферного кислорода, используется в космосе
- Е. Имеет два контура воздушного потока
- Ф. Использует только солнечную энергию

№ 4 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

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

Какие утверждения верны для турбулентных течений? (Выберите 2)

- А) Характеризуются высокими числами Рейнольдса
- В) Всегда являются стационарными
- С) Имеют хаотичные пульсации скорости
- Д) Легче моделировать, чем ламинарные

№ 6 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 (ρ)

Е) Число Прандтля (Pr)

№ 7 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

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

Соответствие элементов крыла и их функций

Элемент крыла Функция

1. Закрылок А. Увеличение подъемной силы на взлете и посадке
2. Элерон В. Управление креном самолета
3. Лонжерон С. Основной силовой элемент, воспринимающий нагрузки
4. Киль D. Обеспечение путевой устойчивости
- Е. Создание подъемной силы
- Е. Посадка и руление на земле

№ 9 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.

№ 10 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.

№ 11 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

№ 12 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

ПК-1.2 - Способен разрабатывать физические и математические модели процессов, а также выполнять расчеты параметров рабочего процесса, теплового состояния и характеристик двигателей и энергоустановок летательных аппаратов

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Каково основное назначение сопла реактивного двигателя?

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

При анализе нагрева корпуса летательного аппарата, движущегося со скоростью близкой к гиперзвуковой, необходимо учитывать следующие виды теплообмена:

1. Конвективный теплообмен
2. Теплопроводность
3. Теплообмен излучением
4. Все перечисленное

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

Центр давления это:

1. Точка приложения полной аэродинамической силы
2. Центр масс тела при его обтекании потоком воздуха
3. Точка приложения сил давления при обтекании тела потоком

Точка приложения сил трения при обтекании тела потоком

№ 4 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?

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Какие шаги необходимо выполнить последовательно для расчёта качества летательного аппарата?

1. Измерьте силу тяжести (вес) летательного аппарата.
2. Определите скорость полета и плотность воздуха.
3. Рассчитайте коэффициент сопротивления C_x .
4. Найдите площадь миделя (средней площади поперечного сечения).
5. Вычислите лобовое сопротивление $R = C_x S \rho V^2 / 2$.
6. Измерьте угол атаки и профиль крыла.
7. Рассчитайте коэффициент подъемной силы C_y .
8. Определите подъемную силу $Y = C_y S \rho V^2 / 2$.
9. Получите качество летательного аппарата $Q = Y/R$.

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

Что из перечисленного не относится к устройствам механизации крыла:

1. Предкрылки
2. Щитки
3. Закрылки
4. Отклоняемый носок
5. Пилоны

№ 7 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между этапами CFD-моделирования и их описаниями:

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

№ 8 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между режимами течения и значением чисел Маха

- | | |
|------------------|------------------|
| 1. Гиперзвуковое | A. $M = 0.75$ |
| 2. Сверхзвуковое | B. $M = 1.2$ |
| 3. Трансзвуковое | B. $M \approx 1$ |
| 4. Дозвуковое | Г. $M = 5.5$ |

№ 9 Прочитайте текст и установите последовательность

Укажите правильную последовательность шагов при проведении аэродинамического анализа крыла самолёта:

1. Проведение вычислительных экспериментов (CFD)
 2. Определение расчётных режимов полёта
 3. Анализ полученных результатов и формулирование выводов
 4. Моделирование геометрии крыла и создание расчетной сетки
 5. Сбор исходных данных о конструкции крыла и характеристиках окружающей среды
- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Выберите два верных утверждения относительно определения качества летательного аппарата:
1. Качество летательного аппарата определяется отношением массы к максимальной мощности двигателя.
 2. Чем меньше тяга двигателя относительно веса аппарата, тем ниже качество летательного аппарата.
 3. Высокое качество летательного аппарата достигается при большом соотношении веса к тяге двигателя.
 4. Показатель качества характеризует способность аппарата поддерживать горизонтальный полет с минимальными затратами энергии.
 5. Качество измеряется как отношение тяговых усилий к силе тяжести летательного аппарата.
- № 11 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°C и стандартном атмосферном давлении.
 3. Абсолютное давление — это разница между избыточным давлением и атмосферным давлением.
 4. Все приведённые варианты правильные.
- № 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какой вид охлаждения стенок камеры сгорания ЖРД приводит к снижению удельного импульса тяги?
1. Регенеративное охлаждение
 2. Пленочное охлаждение
 3. Испарительное охлаждение
 4. Теплоизоляция реголитом