

ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е. Жуковского»

(ФАУ «ЦАГИ»)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»

Группа научных специальностей: 2.5 «Машиностроение»

Научные специальности: 2.5.12 «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов»

Уровень образования: высшее образование – подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения
Очная

Жуковский, 2024

Рабочая программа учебной дисциплины «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов» разработана на основании федерального государственного требования, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. N 951

Программа рекомендована Научно-методическим советом ФАУ «ЦАГИ» для групп научных специальностей и научных специальностей:

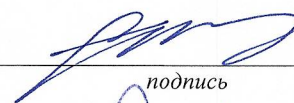
Группа научных специальностей: **2.5 Машиностроение**

Научная специальность: **2.5.12 Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов**

Разработчики программы:

С.А. Таковицкий

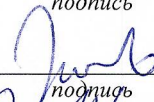
ФИО



подпись

С.Л. Горелов

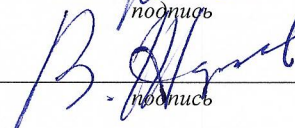
ФИО



подпись

В.А. Жаров

ФИО



подпись

ФИО

подпись

Согласовано:

Председатель научно-методического совета по аспирантуре

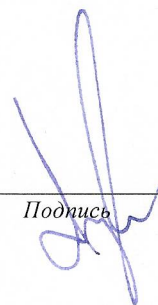
А.М. Гайфуллин,

д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН



Подпись

Первый заместитель генерального
директора А.Л. Медведский д.ф.-
м.н., доц.



Подпись

Содержание

1. Общие положения	4
1.1 Цель и задачи учебной дисциплины	4
1.2 Место учебной дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы.....	4
1.3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине в рамках планируемых результатов освоения основной профессиональной образовательной программы	4
2. Объем учебной дисциплины	5
3. Содержание учебной дисциплины.....	6
3.1. Учебно-тематический план по очной форме обучения	6
4. Содержание разделов и тем учебной дисциплины	8
5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине.....	12
5.1. Форма промежуточной аттестации обучающегося по учебной дисциплине	12
5.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....	12
5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы	13
6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы для освоения учебной дисциплины	15
6.1. Основная литература.....	15
6.2. Дополнительная литература.....	16
7. Перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения учебной дисциплины	17
8. Методические указания для обучающихся по освоению учебной дисциплины.....	17
8.1. Подготовка к лекционному занятию	17
8.2. Подготовка к занятию практического типа.	18
8.3. Самостоятельная работа обучающегося.....	19
8.4. Подготовка к зачету/экзамену	20
9. Информационно-технологическое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине.....	21
10. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине	21
11. Образовательные технологии.....	21
12. Аннотация рабочей программы учебной дисциплины	23
Лист регистрации изменений	25

1. Общие положения

1.1 Цель и задачи учебной дисциплины

Целью изучения дисциплины «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов» является формирование у аспирантов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области аэродинамики и процессов теплообмена летательных аппаратов; развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих на высоком научно-техническом уровне создавать и применять физические модели для решения исследования свойств механических объектов, применения специфических алгоритмов, инструментов и средств, необходимых для решения задач механики.

Задачи изучения дисциплины включают:

- обучение аспирантов основным понятиям аэродинамики и закономерностям движения жидкостей, газов и плазмы при различных скоростях и их взаимодействия с обтекаемыми телами;
- формирование научных представлений о законах аэродинамики и моделях сплошной среды в механике жидкости, газа и плазмы;
- развитие навыков применения уравнений и законов механики жидкости, газа, плазмы и воздействия внешних сил на конструкцию летательного аппарата в прикладных задачах.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина является обязательной для освоения по группе научной специальности 2.5 «Машиностроение», научной специальности 2.5.12 «Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов».

1.3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине в рамках планируемых результатов освоения основной профессиональной образовательной программы

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты:

Таблица 1

Планируемые результаты обучения

Результаты обучения
Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов.
Владеть навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях

Знать и понимать место экспериментальных, теоретических и расчетных исследований в аэродинамике летательных аппаратов.

Уметь грамотно оценивать аэродинамические нагрузки, действующие на отдельные элементы и летательный аппарат в целом, с учетом особенностей аэродинамической схемы и скоростного режима.

Владеть методиками эксперимента в аэродинамических трубах, навыками работы с программными комплексами решения задач аэродинамики летательных аппаратов

Знать основы смежных специальностей (механика жидкости, газа и плазмы; прочность и тепловые режимы летательных аппаратов; тепловые, электроракетные двигатели и энергетические установки летательных аппаратов; динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов)

Уметь обрабатывать результаты фундаментальных и прикладных исследований с формулированием выводов и конкретных рекомендаций

Владеть навыками работы с программными комплексами проектирования летательных аппаратов

Знать основные результаты исследований, выполняемых в структурных подразделениях организации

Уметь использовать современные образовательные и информационные технологии, публично представлять собственные и известные научные результаты

Владеть навыками сбора, обработки и компилирования данных современных научных исследований в области аэродинамики летательных аппаратов. Приобретать и использовать организационно-управленческие навыки

2. Объем учебной дисциплины

Общая трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетные единицы.

Таблица 2

Распределение объема дисциплины по видам работ

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		4	5	6
Аудиторные учебные занятия, всего, в т.ч.:	88	36	34	18
контактная работа обучающихся с преподавателем:	88	36	34	18
- учебные занятия лекционного типа	88	36	34	18
- учебные занятия семинарского типа	-	-	-	
- лабораторные занятия	-	-	-	
Самостоятельная работа обучающихся, всего, в т.ч.:	92	36	38	18

- подготовка к лекционным и практическим занятиям, самостоятельное изучение разделов дисциплины в ЭИОС	92	36	38	18
- выполнение практических заданий	-	-	-	
- рубежный текущий контроль	-	-	-	
Контроль	36	-		36
Вид промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	-	зачет	зачет с оценкой	экзамен
Общая трудоемкость учебной дисциплины, з.е.	6	2	2	2

** **Самостоятельная работа** – изучение студентами теоретического материала, подготовка к лекциям, практическим и семинарским занятиям, написание рефератов, отчетов, проектов, работа в электронной образовательной среде и др. для приобретения новых знаний и умений.*

***Виды самостоятельной учебной работы:** расчетно-графическая работа, написание реферата, выполнение типового расчета, домашнее задание (решение задач, перевод текста, конспектирование, составление обзора), подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, научно-исследовательская работа и т.п.).*

3. Содержание учебной дисциплины

3.1. Учебно-тематический план по очной форме обучения

Объем учебных занятий составляет 88 часов.

Объем самостоятельной работы – 92 часа.

Таблица 3

Распределение учебного времени по темам и видам учебных занятий

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, академических часов					
		Всего	Самостоятельная работа, в т.ч. промежуточная атте- стация	Контактная работа обуча- ющихся с преподавателем			
				Всего	Лекционного типа	Семинарского типа	Лабораторные занятия
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тема 1. Основные физические закономерности течений	12	6	6	6	-	-
2	Тема 2. Кинематика сплошной среды	14	7	7	7	-	-
3	Тема 3. Динамика сплошной среды	14	7	7	7	-	-
4	Тема 4. Изэнтропические течения	14	7	7	7	-	-
5	Тема 5. Скачки уплотнения	14	7	7	7	-	-
6	Тема 6. Пограничный слой	13	7	6	6	-	-
7	Тема 7. Потенциальные течения идеальной сплошной среды	13	7	6	6	-	-
8	Тема 8. Аэродинамические характеристики профиля	13	7	6	6	-	-
9	Тема 9. Аэродинамика крыла при малых дозвуковых скоростях	13	7	6	6	-	-
10	Тема 10. Аэродинамика крыла при околосвуковой скорости	12	6	6	6	-	-
11	Тема 11. Аэродинамика крыла при сверхзвуковой скорости	12	6	6	6	-	-
12	Тема 12. Аэродинамика фюзеляжа. Аэродинамические силы, компоновки летательного аппарата	12	6	6	6	-	-

13	Тема 13. Критические режимы обтекания самолета	12	6	6	6	-	-
14	Тема 14. Аэродинамический нагрев	12	6	6	6	-	-
Общий объем, часов		180	92	88	88	-	-
Форма итоговой аттестации		Зачет/зачет с оценкой/экзамен					

4. Содержание тем учебной дисциплины

Тема 1. Основные физические закономерности течений.

Молекулярная структура газов и жидкостей. Два подхода к описанию движений жидкостей и газа. Уровни описания течений. Основные модели сред. Взаимодействие среды с обтекаемыми поверхностями. Плоские безвихревые течения. Потенциал скорости и функция тока. Связь с теорией функций комплексного переменного. Простейшие примеры течений: однородный поток, источники и стоки, диполи, дискретные вихри.

Тема 2. Кинематика сплошной среды.

Положения кинетической теории газов. Столкновения частиц в газе. Функция распределения молекул по скоростям. Макроскопические характеристики газа. Кинетическое уравнение Больцмана. Локальное равновесие газа. Установившиеся и неуставившиеся движения. Линия тока, траектория, трубка тока. Циркуляция скорости. Разложение движения частиц сплошной среды. Понятия о линейной и угловой деформациях. Вихревые движения. Вихревая линия, вихревая трубка, вихревой шнур. Теоремы Гельмгольца и теорема Стокса о вихрях. Определение скорости по заданному полю вихрей. Безвихревой поток. Потенциал скорости и его свойства. Вихревая нить. Закон Био-Савара. Движение точечных вихрей. Вихревая модель обтекания крыла малого удлинения. Нестационарная аналогия.

Тема 3. Динамика сплошной среды.

Свободномолекулярная аэродинамика. Переходная область динамики разреженного газа. Численные методы. Метод Монте-Карло. Приближенные методы. Уравнение неразрывности. Дифференциальные уравнения движения идеального газа. Интеграл Бернулли. Понятие вязкой жидкости. Уравнение движения вязкой среды. Вывод и различные формы записи уравнения Навье-Стокса. Законы подобия. Параметры подобия. Тепловое подобие. Уравнение энергии. Начальные и граничные условия. Формулы подобия. Числа Маха, Рейнольдса, Фруда, Струхала, Кнудсена. Числа Нусельта и Прандтля. П-теорема. Примеры точечных решений уравнений Навье-Стокса. Вязкие течения при больших числах Рейнольдса. Теория пограничного слоя. Вывод уравнений Прандтля. Начальные и граничные условия. Коэффициенты аэродинамических сил и моментов, коэффициент давления. Обтекание тел с отрывом струей. Метод Киргофа.

Течение около пластины перпендикулярной потоку. Связь числа Кнудсена с другими параметрами подобия. Классификация течений в зависимости от значения числа Кнудсена.

Тема 4. Изоэнтропические течения.

Одномерное изоэнтропическое течение газа. Зависимости параметров потока от его скоростей. Параметры торможения, максимальная и критическая скорости. Зависимость удельного массового расхода и площади сечения струйки от скорости потока. Сопло Лаваля. Примеры использования сопла в аэродинамических трубах. Экспериментальное моделирование в аэродинамических трубах, критерии подобия. Измерение сил и моментов, определение локальных параметров течения, методы визуализации. Плоское изоэнтропическое течение газа. Критерий потенциальности для плоского изоэнтропического течения газа. Основное дифференциальное уравнение плоского потенциального потока газа. Метод малых возмущений. Линеаризованное уравнение Бернулли. Распространение малых возмущений в потоке газа. Обтекание сверхзвуковым потоком выпуклого тупого угла (течение Прандтля-Майера). Изоэнергетические течения. Линеаризованная теория. Метод особенностей в аэродинамике.

Тема 5. Скачки уплотнения.

Ударные волны. Типы скачков уплотнения. Основные соотношения на прямом и косом скачках уплотнения. Изменение параметров потока при переходе через скачок уплотнения. Связь между углом наклона косого скачка уплотнения и углом поворота потока за скачком, предельный угол поворота потока. Системы скачков. Коэффициент восстановления полного давления за прямым и косым скачками уплотнения, за системой косых скачков. Конус и клин в сверхзвуковом потоке. Особенности динамики сжимаемой среды. Параметры газа за скачком уплотнения. Взаимодействие скачков уплотнения.

Тема 6. Пограничный слой.

Теория пограничного слоя. Толщина пограничного слоя; толщина вытеснения пограничного слоя. Интегральное соотношение. Вывод уравнений Прандтля. Начальные и граничные условия. Ламинарный, турбулентный, сжимаемый и смешанный пограничные слои на плоской пластине. Коэффициент сопротивления трения плоской пластины. Пограничный слой на криволинейной поверхности. Отрыв пограничного слоя. Уравнения пограничного слоя в несжимаемой жидкости. Уравнение энергии. Уравнение Блазиуса. Связь между трением и теплопередачей. Интегральные толщины пограничного слоя. Влияние сжимаемости. Интегральные методы. Плоские и пространственные течения невязкого газа. Большие возмущения. Малые возмущения. Неустановившиеся движения. Сопротивление трения. Температурный слой и теплопередача. Аналогия Рейнольдса. Интегральные уравнения Кармана. Автомодельные задачи ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя и его связь с сопротивлением. Кризис сопротивления. Явление перехода ламинарного течения к турбулентному.

Тема 7. Потенциальные течения идеальной сплошной среды.

Метод наложения потенциальных потоков. Примеры простых течений: прямолинейный поступательный поток, источник, сток, диполь. Безциркуляционное

и циркуляционное обтекание круглого цилиндра. Теорема Н. Е. Жуковского об аэродинамической подъемной силе.

Тема 8. Аэродинамические характеристики профиля.

Геометрические параметры. Аэродинамика профиля при малых дозвуковых скоростях: основные положения теории тонкого профиля; фокус и центр давления профиля; картина обтекания при малых и больших углах атаки; зависимость коэффициентов аэродинамических сил и момента от угла атаки и геометрических параметров профиля. Аэродинамика профиля при околозвуковых скоростях: критическое число Маха; тонкий профиль при больших дозвуковых скоростях; картины обтекания профиля при околозвуковых скоростях, распределение давления по профилю, волновое сопротивление; влияние числа Маха на коэффициенты аэродинамической подъемной силы и лобового сопротивления. Аэродинамика профиля при сверхзвуковых скоростях: картина обтекания, понятие о методах расчета коэффициентов аэродинамических сил и момента, влияние числа Маха и геометрии профиля на его аэродинамические характеристики. Особенности аэродинамики профилей при малых и умеренных числах Рейнольдса. Ламинарные «пузыри».

Тема 9. Аэродинамика крыла при малых дозвуковых скоростях.

Геометрические характеристики. Картина обтекания при малых углах атаки, профиль и сечение крыла. Гидродинамическая модель. Методы расчета аэродинамических характеристик. Понятие об угле скоса потока и индуктивном сопротивлении. Зависимость аэродинамических характеристик крыла от угла атаки и его геометрических параметров (стреловидности передней и задней кромок, удлинения, сужения, крутки, деформации средней поверхности). Особенности отрывно-вихревого течения около треугольного крыла. Разрушение вихревой системы. Нелинейные аэродинамические характеристики. Крыло сложной формы при виде сверху. Поляры, аэродинамическое качество. Аэродинамика крыла конечного размаха. Теория Прандтля индуктивного сопротивления. Влияние сжимаемости на обтекание тонких профилей, крыльев и тел вращения. Формула Прандтля-Глауэрта. Метод годографа. Сущность экранного эффекта. Влияние экрана на подъемную силу и сопротивление.

Тема 10. Аэродинамика крыла при околозвуковой скорости.

Расчет аэродинамических характеристик по линейной теории при большой дозвуковой скорости. Понятие о методах расчета аэродинамических характеристик при околозвуковых скоростях. Коэффициенты аэродинамических сил и момента. Поляры, аэродинамическое качество. Особенности трансзвуковой аэродинамики. Местные сверхзвуковые зоны и рост волнового сопротивления – звуковой барьер. Уравнение Кармана. Околозвуковое подобие. Принцип эквивалентности и правило площадей Уиткомба.

Тема 11. Аэродинамика крыла при сверхзвуковой скорости.

Особенности обтекания (влияние концов и стреловидности передней кромки). Треугольное крыло с дозвуковой и сверхзвуковой передними кромками. Распределение коэффициента давления по поверхности крыла произвольной формы при виде сверху. Поляры, сравнение с полярами при дозвуковой скорости. Аэродинамическое качество. Течение Прандтля-Майера. Скачки

уплотнения. Соотношения Рэнкина-Гюгонио. Обтекание клина и конуса. Эпиклоида, ударная поляра и яблоковидная кривая. Волновое сопротивление. Формулы Аккерета и Буземана. Оптимальные формы тонких профилей и тел вращения. Полезная интерференция. Биплан Буземана. Треугольные крылья с дозвуковыми и сверхзвуковыми кромками. Особенности гиперзвуковой аэродинамики. Гиперзвуковая стабилизация. Закон плоских сечений и правило полос для тонких тел и крыльев. Энтропийный слой. Приближенные формулы Ньютона и Ньютона-Буземана. Гиперзвуковые свободномолекулярные течения. Давление и трение на пластине, расположенной под нулевым и ненулевым углом атаки к потоку газа.

Тема 12. Аэродинамика фюзеляжа. Аэродинамические силы, компоновки летательного аппарата.

Геометрические параметры фюзеляжа в виде тела вращения. Картина обтекания при малых углах атаки. Основные положения теории тонкого тела и ее использование для определения коэффициента аэродинамической подъемной силы при малых углах атаки. Коэффициент лобового сопротивления. Картина обтекания на больших углах атаки. Нелинейные аэродинамические характеристики. Схемы аэродинамической компоновки самолета. Интерференция частей самолета (картина обтекания и понятия об учете взаимного влияния при расчете аэродинамических характеристик): крыла (оперения) и фюзеляжа; двух несущих поверхностей (крыло-оперение, оперение-крыло), расположенных друг за другом. Коэффициенты аэродинамической подъемной силы и лобового сопротивления, поляры, аэродинамическое качество самолета с отклоненными органами управления и без них. Аэродинамическая боковая сила. Коэффициент аэродинамической боковой силы. Составляющие аэродинамического сопротивления. Теория оптимальных аэродинамических форм.

Тема 13. Критические режимы обтекания самолета.

Особенности обтекания самолета на больших околокритических углах атаки, физическая картина срыва потока. Влияние геометрических параметров крыла на характер срывных течений. Тряска, сваливание самолета. Допустимый коэффициент аэродинамической подъемной силы. Авторотация крыла. Механизация крыла, предназначенная для предотвращения срыва потока. Природа аэродинамической интерференции. Интерференция элементов планера и силовой установки. Внешние и внутренние аэродинамические характеристики летательных аппаратов. Явление интерференции частей ЛА. Коэффициент интерференции. Общее содержание задачи и выбор оперения. Выбор оперения с трапецевидной консолью.

Тема 14. Аэродинамический нагрев.

Виды теплообмена. Основной закон теплопроводности. Законы подобия, методы экспериментального и расчетного исследования теплообмена. Тепловая защита. Связь между трением и теплопередачей. Теплопередача в ламинарном и турбулентном пограничном слое на криволинейной поверхности. Диффузионная теплопередача. Определение температуры поверхности.

5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине

5.1. Форма промежуточной аттестации обучающегося по учебной дисциплине

Контрольным мероприятием промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине является **зачет** - в 4 семестре обучения, **зачет с оценкой** - в 5 семестре обучения и **экзамен** – в 6 семестре обучения, которые проводятся в устной и письменной форме.

Обучающийся допускается к зачетам по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине методом экспертной оценки.

5.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

По результатам сдачи **зачета** аспиранту выставляется оценка:

- «**зачет**» – в случае, если аспиранта успешно освоил основные темы курса, регулярно посещал аудиторские занятия; системно и удовлетворительно выполнял самостоятельную работу;

- «**незачет**» – при не освоении аспирантом основных тем курса и не регулярном посещении аудиторских занятий; не представлении результатов самостоятельной работы.

Оценка знаний аспиранта на **зачете с оценкой и экзамене** осуществляется по **пятибалльной шкале**:

- «**отлично**», если аспирант показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и логично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения;

- «**хорошо**», если аспирант твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических заданий;

- «**удовлетворительно**», если аспирант имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил его деталей, требует в отдельных случаях наводящих вопросов для правильного ответа, допускает отдельные неточности, ошибки в решении практических заданий;

- «**неудовлетворительно**», если аспирант допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применять полученные знания на практике.

5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примерные вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине:

1. Молекулярная структура газов и жидкостей. Макроскопические параметры и функции среды. Основные модели сред. Характерные условия движения летательных аппаратов.

2. Положения кинетической теории газов. Столкновения частиц в газе. Функция распределения молекул по скоростям. Макроскопические характеристики газа.

3. Кинетическое уравнение Больцмана. Локальное равновесие газа. Общее уравнение переноса и уравнения механики сплошной среды.

4. Свободномолекулярное течение газа. Свободномолекулярная аэродинамика.

5. Переходная область динамики разреженного газа. Численные методы.

6. Метод прямого статистического моделирования.

7. Приближенные методы динамики разреженного газа.

8. Основные понятия потенциальных течений. Примеры потенциальных течений. Силы и момент.

9. Формулы Жуковского-Чаплыгина. Вихревые течения. Метод особенностей.

10. Особенности динамики сжимаемой среды. Одномерные изоэнтропические течения газа.

11. Параметры газа за скачком уплотнения. Взаимодействие скачков уплотнения.

12. Плоские и пространственные течения газа. Большие возмущения.

13. Плоские и пространственные течения газа. Малые возмущения.

14. Уравнения Навье-Стокса как следствие теории разреженных газов. Сложные и ползущие течения. Течение Хилл-Шоу.

15. Ламинарный пограничный слой. Уравнения пограничного слоя в несжимаемой жидкости. Уравнение энергии. Связь между трением и теплопередачей. Интегральные толщины. Зависимость толщин слоя Блазиуса от числа Рейнольдса.

16. Ламинарный пограничный слой. Влияние сжимаемости. Интегральные методы. Трехмерные и осесимметричные тела.

17. Возникновение турбулентности. Переход ламинарного течения в турбулентное. Типы перехода. Развитый турбулентный пограничный слой.

18. Уравнения Рейнольдса. Структура турбулентного пограничного слоя. Плоская пластина. Модели турбулентности. Тройная декомпозиция.

19. Определение отрыва пограничного слоя. Типы отрывных течений. Общие закономерности. Определение параметров в характерных областях. Методы расчета.
20. Особенности отрывных течений. Оценка области влияния отрыва вверх по течению.
21. Плоские безвихревые течения. Потенциал скорости и функция тока. Связь с теорией функций комплексного переменного. Простейшие примеры течений.
22. Вихрь и циркуляция. Поле вихрей. Теоремы Гельмгольца. Определение поля скоростей по заданному распределению завихренности. Вихревая нить. Закон Био-Савара.
23. Обтекание тел с отрывом струй. Метод Киргофа. Течение около пластины перпендикулярной току.
24. Аэродинамика профиля и крыла конечного размаха. Теория Прандтля индуктивного сопротивления.
25. Движение точечных вихрей. Вихревая модель обтекания крыла малого удлинения. Нестационарная аналогия.
26. Экспериментальное моделирование в аэродинамических трубах, критерии подобия. Измерение сил и моментов, определение локальных параметров течения, методы визуализации.
27. Особенности аэродинамики профилей при малых и умеренных числах Рейнольдса. Ламинарные «пузыри».
28. Вязкие течения при больших числах Рейнольдса. Теория пограничного слоя. Вывод уравнений Прандтля. Начальные и граничные условия. Пограничный слой на плоской пластине. Уравнение Блазиуса.
29. Автомодельные задачи ламинарного пограничного слоя. Явление отрыва пограничного слоя и его связь с сопротивлением. Кризис сопротивления.
30. Явление перехода ламинарного течения к турбулентному. Критическое число Рейнольдса.
31. Осреднение по Рейнольдсу. Осреднение по Фавру. Турбулентное напряжение. Гипотеза Буссенекса. Полуэмпирические и дифференциальные модели турбулентности.
32. Сжимаемость. Число Маха и классификация течений. Интеграл Бергули. Скорость звука и критические числа Маха.
33. Изозентропические и изоэнергетические течения. Линеаризованная теория. Метод особенностей в аэродинамике.
34. Дозвуковая аэродинамика. Влияние сжимаемости на обтекание тонких профилей, крыльев и тел вращения. Формула Прандтля-Глауэрта. Метод годографа.
35. Особенности трансзвуковой аэродинамики. Местные сверхзвуковые зоны и рост волнового сопротивления. Уравнение Кармана. Околосзвуковое подобие. Принцип эквивалентности и правило площадей Уиткомба.
36. Сверхзвуковая аэродинамика. Течение Прандтля-Майера. Скачки уплотнения. Соотношения Рэнкина-Гюгонио. Обтекание клина и конуса. Эпициклоида, ударная поляра и яблоковидная кривая.

37. Волновое сопротивление. Формулы Аккерета и Буземана. Оптимальные формы тонких профилей и тел вращения.

38. Полезная интерференция. Биплан Буземана. Треугольные крылья с дозвуковыми и сверхзвуковыми кромками.

39. Составляющие аэродинамического сопротивления. Теория оптимальных аэродинамических форм.

40. Природа аэродинамических интерференций. Интерференция элементов планера и силовой установки. Внешние и внутренние характеристики летательных аппаратов.

41. Сущность экранного эффекта. Влияние экрана на подъемную силу и сопротивление.

42. Особенности гиперзвуковой аэродинамики. Гиперзвуковая стабилизация. Закон плоских сечений и правило полос для тонких тел и крыльев.

43. Закон подобия. Энтропийный слой. Приближенные формулы Ньютона и Ньютона-Буземана.

44. Сжимаемый пограничный слой на плоской пластине. Сопротивление трения. Температурный пограничный слой и теплопередача. Аналогия Рейнольдса. Интегральные уравнения Кармана.

45. Виды теплообмена. Основной закон теплопроводности. Закона подобия, методы экспериментального и расчетного исследования теплообмена. Тепловая защита.

46. Число Кнудсена, связь с другими параметрами подобия: числами Рейнольдса и Маха. Классификация течений в зависимости от значения числа Кнудсена.

47. Гиперзвуковые свободномолекулярные течения. Давление и трение на пластине, расположенной под нулевым и ненулевым углом атаки к потоку газа.

48. Аэродинамика крыла при малых дозвуковых скоростях и при околозвуковой скорости.

49. Аэродинамика крыла при сверхзвуковой скорости.

50. Аэродинамические характеристики профиля. Аэродинамика фюзеляжа. Аэродинамические силы, компоновки летательного аппарата. Аэродинамический нагрев.

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы для освоения учебной дисциплины

6.1. Основная литература

1. Бондарев Е. Н. и др. Аэрогидромеханика. – М: Машиностроение, 1993. – 608 с.
2. Голубев А. Г. и др. Аэродинамика. – М: МГТУ им. Баумана, 2010. – 687 с.
3. Калугин В.Т. и др. Аэродинамика. – М: МГТУ, 2010. – 687 с.
4. Коган М. Н. Динамика разреженного газа. – М: Наука, 1967. – 440 с.
5. Крайнов В. П. Качественные методы в физической кинетике и гидрогазодинамике. – М: Высшая школа, 1989. – 224 с.

6. Липман Г.В., Рошко А. Элементы газовой динамики. – М: ИЛ, 1960. – 520 с.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М: Дрофа, 2003. – 810 с.
8. Лунев В.В. Гиперзвуковая аэродинамика. – М: Машиностроение, 1975. – 328 с.
9. Чжен П. Отрывные течения. Т.1-3. – М.: Мир, 1972-1973 г.
10. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Наука, 1974. – 711 с.

6.2. Дополнительная литература

1. Андрижиевский, А. А. Механика жидкости и газа : учебное пособие / А. А. Андрижиевский. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 207 с. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/35498.html> (дата обращения: 31.03.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей
2. Белоцерковский О. М., Хлопков Ю.И. Жаров В.А., Горелов С.Л., Хлопков А. Ю. Организованные структуры в турбулентных течениях. Анализ экспериментальных работ по турбулентному пограничному слою. – М.: МФТИ, 2009. – 302 с.
3. Брутян М.А. Основы трансзвуковой аэродинамики. М: - Наука, 2017 – 176 с.
4. Брушлинский, К. В. Математические основы вычислительной механики жидкости, газа и плазмы : учебное пособие / К. В. Брушлинский. – Долгопрудный : Издательский Дом «Интеллект», 2017. – 268 с. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/103371.html> (дата обращения: 31.03.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей
5. Давыдов, А. П. Основы механики жидкости и газа (Современные проблемы техники, технологий и инженерных расчетов) : монография / А. П. Давыдов, М. А. Валиуллин, О. Р. Каратаев ; под редакцией Л. Г. Шевчук. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. – 109 с. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/63753.html> (дата обращения: 31.03.2020). – Режим доступа: для авторизир. пользователей
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидромеханика. – М.: Наука, 1986. – 736 с.
7. Погорелов, В. И. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев : учебное пособие для вузов / В. И. Погорелов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 191 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07627-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт
8. Брылев, А. А. Основы научно-исследовательской работы : учебник для вузов / А. А. Брылев, И. Н. Турчаева. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 206 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15861-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт

7. Перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения учебной дисциплины

1. Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского: Официальный сайт. – [Электронный ресурс]. – URL : http://www.tsagi.ru/research/flight_dynamics/. – Режим доступа: свободный.

2. Государственный научный центр РФ Акционерное общество «Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова: Официальный сайт. – URL : <http://lii.ru/letnye-issledovaniya-i-ispytaniya-samoletov-i-vertoletov/>. – Режим доступа: свободный.

3. Известия Российской Академии наук. Механика жидкости, газа и плазмы: Официальный сайт журнала. – [Электронный ресурс]. – URL : <http://mzg.ipmnet.ru/ru/>. – Режим доступа: свободный.

4. Российская Академия наук – Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН: Секция механики: официальный сайт. – [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.oem.ras.ru/37-top-slider-items/147-%D1%81%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B8.html>

5. IPR BOOKS [Электронный ресурс] : Электронно-библиотечная система. – URL : <http://www.iprbookshop.ru/>. – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

8. Методические указания для обучающихся по освоению учебной дисциплины

Освоение обучающимся учебной дисциплины «**Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов**» предполагает изучение материалов дисциплины на аудиторных занятиях и в ходе самостоятельной работы. Аудиторные занятия проходят в форме лекций. Самостоятельная работа включает разнообразный комплекс видов и форм работы обучающихся.

Для успешного освоения учебной дисциплины и достижения поставленных целей необходимо внимательно ознакомиться с настоящей рабочей программой учебной дисциплины на официальном Интернет-сайте ФАУ «ЦАГИ». Следует обратить внимание на список основной и дополнительной литературы, а также на предлагаемые преподавателем ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Эта информация необходима для самостоятельной работы обучающегося.

8.1. Подготовка к лекционному занятию

Подготовка к лекционному занятию включает выполнение всех видов заданий, размещенных к каждой лекции, т.е. задания выполняются еще до лекционного занятия по соответствующей теме. В ходе лекционных занятий необходимо вести конспектирование учебного материала. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы,

дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Аспирант может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании различных видов работ.

8.2. Подготовка к занятию практического типа

Формы проведения практических занятий зависят от содержания изучаемой дисциплины, уровня подготовки обучающегося, имеющейся учебно-материальной базы и целей обучения. Практические занятия имеют целью:

- углубление, расширение и конкретизацию теоретических знаний, полученных на лекциях, до уровня, на котором возможно их практическое использование;
- экспериментальное подтверждение положений и выводов, изложенных в теоретическом курсе, и усиление доказательности обучения;
- решение задач, связанных с проведением необходимых расчетов;
- отработку навыков и умений в пользовании графиками, схемами, номограммами, картами, приборами или их комплексами;
- практическую работу на процедурных, специализированных и комплексных тренажерах для отработки умений и навыков в выполнении определенных технологических приемов и операторских функций;
- отработку умения использования ПК и пр.

Основу занятий практического типа составляет работа каждого обучающегося по приобретению умений и навыков использования закономерностей и методов, составляющих содержание дисциплины в профессиональной деятельности или в подготовке к изучению дисциплин, формирующих их универсальные и общепрофессиональные компетенции.

Практическим занятиям предшествуют лекции и целенаправленная самостоятельная подготовка студентов, поэтому практические занятия нужно начинать с краткого обзора цели занятия, напоминания о его связи с лекциями и формулирования конкретных вопросов-заданий, которые должны быть решены на данном занятии.

Вопросы и задачи, выносимые на практические занятия, должны касаться не только проблем современности, но и перспектив развития отрасли.

Практические занятия в большинстве случаев проводятся с использованием технических средств обучения, макетов, схем, моделей, разрезов узлов и агрегатов, демонстрационного и раздаточного материала и пр.

Разнообразие форм и целей практических занятий предполагает разнообразие форм контроля знаний и умений, приобретаемых студентами в ходе занятий. Контроль знаний может производиться по результатам решения задач, устных и

письменных ответов на вопросы-задания, правильности действий в ходе проведения ролевой (деловой) игры, четкости работы на тренажере и т.п. По результатам контроля знаний и умений преподаватель должен провести анализ хода и итогов практических занятий, отметить успехи обучающихся в решении учебной задачи, а также недостатки и ошибки, разобрать их причины и дать методические указания к их устранению.

8.3. Самостоятельная работа обучающегося

Самостоятельная работа аспирантов может рассматриваться как организационная форма обучения – система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью аспирантов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи. Аспиранту нужно четко понимать, что самостоятельная работа в аспирантуре – не просто обязательное, а необходимое условие для получения знаний и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации).

Самостоятельная работа аспирантов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений аспирантов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности аспирантов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная. Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа аспирантов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа аспиранта реализуется в рамках:

- учебных дисциплин;
- педагогической и научно-исследовательской практики;
- научных исследований;
- подготовки к сдаче государственного экзамена;
- в процессе работы над научно-квалификационной работой (диссертацией).

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует аспирантам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные аспирантами работы и т. п.

Различают несколько категорий видов самостоятельной работы аспирантов:

- работа с источниками литературы и официальными документами (использование библиотечно-информационной системы);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (рефераты, эссе, домашние задания, решения кейсов);
- реализация элементов педагогической практики (разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (подготовка текстов докладов, участие в исследованиях, стажировках);
- выполнение обязательных и элективных элементов научно-исследовательской работы (подготовка к научно-исследовательскому семинару, написание статей, работа над текстом диссертации).

Особенностью организации самостоятельной работы аспирантов является необходимость не только подготовиться к сдаче кандидатского экзамена по специальности, но и собрать, обобщить, систематизировать, проработать и проанализировать большой массив информации по теме диссертации.

Во время выполнения самостоятельной работы аспирант должен подготовить научные, а также доклады на научные конференции.

Технология организации самостоятельной работы аспирантов включает использование информационных и материально-технических ресурсов ФАУ «ЦАГИ».

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику направления, по которому обучается аспирант, данной дисциплины, индивидуальные особенности аспиранта.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами аспирантов на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений аспирантов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине или в рамках аттестации, проводящийся два раза в год, на которой выставляются зачеты по конкретным видам самостоятельной работы, предусмотренных учебным планом.

8.4. Подготовка к зачету и экзамену

К зачету и экзамену необходимо готовиться целенаправленно, регулярно, систематически и с первых дней обучения по данной дисциплине.

После предложенных указаний у обучающихся должно сформироваться четкое представление о требуемых знаниях и умениях, которыми надо будет овладеть при освоении учебной дисциплины.

9. Информационно-технологическое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине

Информационные технологии

1. Персональные компьютеры.
2. Доступ к сети «Интернет».
3. Проектор.

Программное обеспечение

1. Microsoft Office (Word, Excel).
2. Acrobat Reader.
3. PowerPoint
4. Windows Media

10. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине

Материально-техническая база ФАУ «ЦАГИ» обеспечивает проведение всех видов занятий, предусмотренных учебным планом, и соответствует действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Для изучения учебной дисциплины «**Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов**» в рамках реализации основной профессиональной образовательной подготовки по группе научной специальности **2.5 «Машиностроение»** используются:

- учебная аудитория для занятий лекционного типа, оснащенная специализированной мебелью (стол для преподавателя, парты, стулья, доска для написания мелом и маркером); техническими средствами обучения (видеопроекторное оборудование, средства звуковоспроизведения, экран);

- учебная аудитория для занятий практического типа, оснащенная специализированной мебелью (стол для преподавателя, парты, стулья, доска для написания мелом); техническими средствами обучения (видеопроекторное оборудование, средства звуковоспроизведения, экран);

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные специализированной мебелью (парты, стулья), техническими средствами обучения (персональные компьютеры с доступом в электронно-информационную среду ФАУ «ЦАГИ», программным обеспечением).

11. Образовательные технологии

Для реализации учебного материала преподаватель может применять разнообразные педагогические технологии (технологии актуализации процесса обучения; построения обогащенной образовательной среды; личностно-ориентированного обучения; развития критического мышления; программированного обучения; информационные технологии и проч.), направленные на достижение целей обучения.

Изложение теоретического материала должно сопровождаться иллюстративными примерами, тщательно отобранными преподавателем. Следует всегда указывать примеры практического применения рассмотренных на занятиях теоретических вопросов.

Практические занятия должны быть организованы преподавателем таким образом, чтобы оставалось время на периодическое выполнение аспирантами небольшой самостоятельной работы в аудитории для проверки усвоения изложенного материала.

Преподавателю следует добиваться систематической непрерывной работы аспирантов в течение семестра.

Аспирант должен ощущать заинтересованность преподавателя в достижении конечного результата: в приобретении обучающимися прочных знаний, умений и владения накопленной информацией для решения задач в профессиональной деятельности.

Необходимо с самого начала занятий рекомендовать аспирантам основную и дополнительную литературу, а в конце семестра дать список вопросов для подготовки к зачету/к зачету с оценкой/экзамену.

При организации обучения по дисциплине преподаватель должен обратить особое внимание на организацию семинарских и практических занятий и самостоятельной работы аспирантов, поскольку курс предполагает широкое использование интерактивных методов обучения.

При реализации дисциплины используются следующие *интерактивные* формы проведения занятий:

- проблемная лекция,
- презентации с возможностью использования различных вспомогательных средств;
- круглый стол (дискуссия).

Проблемная лекция – учебная проблема ставится преподавателем до лекции и должна разворачивается на лекции в живой речи преподавателя, так как проблемная лекция предполагает диалогическое изложение материала. С помощью соответствующих методических приемов (постановка проблемных и информационных вопросов, выдвижение многообразных гипотез и нахождение тех или иных путей их подтверждения или опровержения), преподаватель побуждает аспирантов к совместному размышлению и дискуссии, хотя индивидуальное восприятие проблемы вызывает различия и в ее формулировании. Чем выше степень диалогичности лекции, тем больше она приближается к проблемной и тем выше ее ориентирующий, обучающий и воспитывающий эффекты, а также формирование мотивов нравственных и познавательных потребностей.

Презентации – документ или комплект документов, предназначенный для представления чего-либо (организации, проекта, продукта и т.п.). Цель презентации – донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации в удобной форме.

Презентация может представлять собой сочетание текста, компьютерной анимации, графики, видео, музыки и звукового ряда (но не обязательно все вместе), которые организованы в единую среду. Кроме того, презентация имеет сюжет, сценарий и структуру, организованную для удобного восприятия информации. Отличительной особенностью презентации является ее интерактивность, то есть создаваемая для пользователя возможность взаимодействия через элементы управления.

Основная цель презентации помочь донести требуемую информацию об объекте презентации.

Дискуссия, как особая форма всестороннего обсуждения спорного вопроса в публичном собрании, в частной беседе, реализуется как коллективное обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставление информации, идей, мнений, предложений.

Целью проведения дискуссии в этом случае является обучение, тренинг, изменение установок, стимулирование творчества и др.

В проведении дискуссии используются различные организационные методики:

- методика «вопрос-ответ» – является разновидностью простого собеседования; отличие состоит в том, что применяется определенная форма постановки вопросов для собеседования с участниками дискуссии-диалога;

- методика «лабиринта» или метод последовательного обсуждения – своеобразная шаговая процедура, в которой каждый последующий шаг делается другим участником. Обсуждению подлежат все решения, даже неверные (тупиковые);

- методика «эстафеты» – каждый заканчивающий выступление участник передает слово тому, кому считает нужным.

12. Аннотация рабочей программы учебной дисциплины

Дисциплина «**Аэродинамика и процессы теплообмена летательных аппаратов**» является обязательной для освоения по группе научной специальности **2.5 «Машиностроение»** подготовки в аспирантуре.

Основной целью изучения дисциплины является формирование у аспирантов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области аэродинамики и процессов теплообмена летательных аппаратов; развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих на высоком научно-техническом уровне создавать и применять физические модели для решения исследования свойств механических

объектов, применения специфических алгоритмов, инструментов и средств, необходимых для решения задач механики.

Структура дисциплины организована в соответствии с основной целью освоения данного курса.

Рабочая программа дисциплины содержит все необходимые положения и полностью удовлетворяет нормам организации педагогического процесса, предусмотренным Федеральными государственными требованиями.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменения	Реквизиты доку- мента об утвержде- нии изменения	Дата введения изменения
	Утверждена и введена в действие решением _____ на основании Фе- дерального государственного требования, приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. N 951	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	__ . __ . ____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	__ . __ . ____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	__ . __ . ____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	__ . __ . ____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	__ . __ . ____