ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

РОСТОВСКИЙ ФИЛИАЛ МГТУ ГА

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 13DE759CC81E7DCE9F325D44F50492B6
Владелец: Бобушев Сергей Алексеевич
Действителен: с 11.12.2023 до 05.03.2025

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора по НиМР
_____ И.А. Сизько
«26» мая 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине **Б1.ОД.33 Техническая термодинамика и теплопередача**
(*шифр и название дисциплины*)

Направление подготовки	25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей		
Квалификация (степень)	Бакалавр		
Профиль подготовки	Поддержание летной годности		
Кафедра	Воздушных судов и авиационных двигателей		
Курс обучения	2		
Форма обучения	очная		
Общий объём учебных часов на дисциплину	108 *часов*	3 *з.е.*	
Семестр	3		
Объём аудиторной нагрузки	52 *часа*		
Лекции	28 *часов*		
Практические занятия			
Лабораторные работы	24 *часа*		
Курсовой проект			
Зачёт			
Дифференцированный зачёт			
Экзамен	3 *семестр*		
Объём самостоятельной работы студента	56 *часов*		

Ростов-на-Дону, 2022 г.

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Целью освоения дисциплины «**Техническая термодинамика и теплопередача»** является формирование у обучающихся необходимых знаний и умений для анализа:

- термодинамических процессов в газах, происходящих в элементах авиационных ГТД;
- основных законов термодинамики;
- основных уравнений термодинамики газового потока;
- идеальных циклов тепловых двигателей;
- основных видов и законов теплообмена: теплопроводности, конвективного теплообмена, теплового излучения и сложного теплообмена (теплопередачи).

Задачей изучения дисциплины «**Техническая термодинамика и теплопередача»** является формирование у студентов профессиональных знаний в области термодинамических процессов, происходящих в авиационных двигателях, конструкции самолета и его системах, необходимых для подготовки специалистов, осуществляющих эксплуатацию воздушных судов и авиационных двигателей гражданской авиации, а также обслуживание объектов и систем топливообеспечения аэропортов.

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

универсальные:

УК – 1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач

Результаты обучения:

знать:

– актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности (УК – 1.1.2);

уметь:

– осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников (УК-1.2.2);

общепрофессиональные:

ОПК-1. Способен использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики, гидравлики, имеющие отношение к техническому обслуживанию воздушных судов.

ИД-$1_{\text{опк-1}}$. Применять основные законы, положения и методы высшей математики для формализации прикладных задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.

знать:

– закономерности течения газов и жидкостей в элементах авиационных двигателей и летательных аппаратов (ОПК-1.1.11);

– закономерности термодинамических и тепловых процессов, при осуществлении рабочего цикла авиационных турбореактивных и поршневых двигателей (ОПК-1.1.12);

– способы передачи теплоты в газах, жидкостях и элементах авиационных двигателей и летательных аппаратов; (ОПК-1.1.13);

уметь:

– составлять математические модели термодинамических и тепловых процессов, происходящих в элементах авиационных силовых установок; (ОПК-1.2.8);

– реализовывать математические модели процессов, происходящих в элементах авиационных силовых установок, в виде алгоритмов с использованием современных языков программирования (ОПК-1.2.9);

– адаптировать известные алгоритмы расчета термодинамических и тепловых процессов к расчету и анализу этих процессов в элементах авиационных силовых установок (ОПК-1.2.10);

владеть:

– системного анализа термодинамических и тепловых процессов, происходящих в элементах авиационных силовых установок; (ОПК-1.3.7);

– разработки алгоритмов для решения прикладных задач термодинамики и теплопередачи (ОПК-1.3.8);

– практического применения математического моделирования для решения прикладных задач термодинамики и теплопередачи в процессе эксплуатации авиационной техники (ОПК-1.3.9);

ИД-2$_{\text{опк-1}}$. Применять законы физики для оценки значений параметров физических систем.

знать:

– основные законы термодинамики и теплопередачи (ОПК 1.1.39);

– термодинамических процессов, происходящих в газах при их течении в элементах авиационных двигателей (ОПК 1.1.40);

– основ математического моделирования термодинамических и тепловых процессов в элементах авиационных двигателей (ОПК 1.1.41);

– закономерностей термодинамических и тепловых процессов, происходящих в элементах авиационных двигателей (ОПК 1.1.42);

– влияния различных эксплуатационных факторов на протекание термодинамических и тепловых процессов в элементах авиационных двигателей ОПК 1.1.43);

– способов устранения отклонений протекания термодинамических и тепловых процессов в элементах авиационных двигателей от установленных норм; (ОПК 1.1.44);

уметь:

– составлять математические модели термодинамических и тепловых процессов, происходящих в элементах авиационных двигателей, с учетом воздействия на них эксплуатационных факторов (ОПК-1.2.29);

– анализировать полетную информацию, касающуюся термодинамических и тепловых процессов, происходящих в элементах авиационных двигателей, и принимать соответствующие управленческие решения в соответствии с этим анализом (ОПК-1.2.30);

владеть:

– навыками разработки алгоритмов для решения прикладных задач термодинамики и теплопередачи; (ОПК – 1.3.22).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Техническая термодинамика и теплопередача» относится к учебным дисциплинам обязательной части учебного плана образовательной программы (далее ОП) направления подготовки **25.03.01** – **Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей,** квалификация (степень): бакалавр.

Для успешного освоения данной дисциплины обучающийся должен владеть знаниями, умениями и навыками, сформированными по дисциплинам Б1.ОД.10 Высшая математика, Б1.ОД.12 Физика, Б1.ОД.20 Теоретическая механика, Б1.ОД. 23 Химия, в частности:

знать:

- основные понятия законы и методы высшей математики, их теоретические основания и практическое применение в профессиональной деятельности;
- фундаментальные физические законы, описывающие процессы и явления в природе;
- физическую сущность явлений, процессов и эффектов, лежащих в основе устройства и функционирования объектов авиационной техники;
- основные законы механики и аэродинамики;
- основные законы химии и закономерности химических превращений, закономерности химических процессов и определяющие их факторы;
- методы приготовления растворов заданной концентрации, измерения электропроводности электролитов.
- общие законы физики, которые подчиняются движению и равновесию материальных тел.
- основные понятия и инструменты теоретической механики.

уметь:

- Применять полученные знания для решения задач теоретический механики;

- Составлять механические модели типовых элементов конструкций.
- Применять физические законы для объяснения функционирования механизмов, явлений природы;
- Применять методы высшей математики в рамках дисциплины и при решении профессиональных задач;
- Проводить стехиометрические расчеты в химических реакциях;
- Определять термодинамические и кинематические параметры химических реакций;

владеть:

- навыками анализа химических процессов, происходящих при взаимодействии веществ, расчета возможности их протекания;
- Навыками анализа химических процессов, происходящих при взаимодействии веществ, расчета возможности их протекания;
- навыками применения физических законов для проведения оценок значений параметров физических систем;
- методами исследования термодинамических процессов, происходящих в элементах авиационных двигателей и летательных аппаратов;
- методом исследования циклов тепловых двигателей;
- методами тепловой защиты элементов летательных аппаратов и их силовых установок.

Дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей:

– Б1.ОД.34. Теория авиационных двигателей;

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Виды учебной работы, включая СРС и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля
			Л	Пр	Лаб	СРС	
1	**РАЗДЕЛ 1. Термодинамика**	**3**	**18**		**12**	**36**	
2	Тема 1.1. Термодинамическая система и ее состояние		2		4	6	Защита отчета по ЛР № 1
3	Тема 1.2. Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы в газах		2			6	
4	Тема 1.3. Второй закон термодинамики		2			6	
5	Тема 1.4. Основные уравнения термодинамики газового потока		4			6	
6	Тема 1.5. Разгон и торможение газового потока		4		4	6	Защита отчета по ЛР № 2
7	Тема 1.6. Идеальные циклы тепловых двигателей		4		4	6	Защита отчета по ЛР № 3
8	**РАЗДЕЛ 2. Теплопередача**	**3**	**10**		**12**	**20**	
9	Тема 2.1. Виды теплообмена. Теплопроводность		2		4	4	Защита отчета по ЛР № 4
10	Тема 2.2. Конвективный теплообмен		2		4	4	Защита отчета по ЛР №5
11	Тема 2.3. Теплообмен излучением		2		4	4	Защита отчета по ЛР №6
12	Тема 2.4. Передача теплоты через стенки. Методы тепловой защиты		2			4	
13	Тема 2.5. Теплообменные аппараты		2			4	
	ФОРМА ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ - ЭКЗАМЕН	**3**					
	ИТОГО:		**28**		**24**	**56**	

Матрица соотнесения тем/разделов учебной дисциплины и формируемых в них общепрофессиональных и универсальных компетенций

Разделы дисциплины, темы (наименования)	*Количество часов*	*ОПК – 1.1.11*	*ОПК – 1.1.12*	*ОПК – 1.1.13*	*ОПК – 1.1.39*	*ОПК – 1.1.40*	*ОПК – 1.1.41*	*ОПК – 1.1.42*	*ОПК – 1.1.43*	*ОПК – 1.1.44*	ОПК – 1.2.8	*ОПК – 1.2.9*	*ОПК – 1.2.10*	*ОПК – 1.2.29*	*ОПК – 1.2.30*	*ОПК – 1.3.7*	*ОПК – 1.3.8*	*ОПК – 1.3.9*	*ОПК – 1.3.22*	*УК -1.1.2*	*УК-1.2.2*	*Общее количество компетенций*
РАЗДЕЛ 1. Термодинамика	66																					
Тема 1.1. Термодинамическая система и ее состояние	12	+		+	+		+	+	+			+			+	+	+			+		2
Тема 1.2. Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы в газах	8		+			+			+		+			+	+			+		+		2
Тема 1.3. Второй закон термодинамики	8	+	+		+	+		+		+	+	+	+	+			+				+	2
Тема 1.4. Основные уравнения термодинамики газового потока	10	+		+		+	+		+	+	+	+		+	+			+	+	+		2
Тема 1.5. Разгон и торможение газового потока	14	+	+			+	+	+		+			+		+	+	+	+	+	+		2
Тема 1.6. Идеальные циклы тепловых двигателей	14	+	+	+		+	+		+	+	+	+		+	+	+	+	+			+	2
РАЗДЕЛ 2. Теплопередача	42																					
Тема 2.1. Виды теплообмена. Теплопроводность	10	+		+	+	+		+	+		+	+	+	+		+		+	+	+		2
Тема 2.2. Конвективный теплообмен	10	+	+	+		+	+	+	+			+	+		+		+	+		+	+	2

Тема 2.3. Теплообмен излучением	10	+				+			+		+		+	+					+	+	+	2
Тема 2.4. Передача теплоты через стенки. Методы тепловой защиты	6		+			+	+		+	+			+		+	+	+			+		2
Тема 2.5. Теплообменные аппараты	6	+				+				+	+	+		+				+		+	+	2
ИТОГО:	108																					2

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

РАЗДЕЛ 1. Техническая термодинамика

Лекция 1. **(2 часа)**

Тема 1.1. Термодинамическая система и ее состояние

Введение. Термодинамическая система. Параметры состояния и уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Уравнения состояния реальных газов. Равновесные, неравновесные и квазистационарные термодинамические процессы. Теплоемкость. Газовые смеси

Литература: [1, с. 9 … 24; 2, с. 3 … 11]

Лабораторная работа №1. (4 часа) Определение теплоёмкости воздуха

Литература: [4, с. 5 … 14]

Самостоятельная работа студентов. (6 часов). Термодинамическая система и ее состояние.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Термодинамическая система. Параметры состояния и уравнение состояния. Уравнение состояния идеального газа. Уравнения состояния реальных газов. Равновесные, неравновесные и квазистационарные термодинамические процессы. Теплоемкость. Газовые смеси

Литература: [1, с. 9 … 24; 2, с.3 … 11]

Лекция 2. **(2 часа)**

Тема 1.2. Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы в газах.

Внутренняя энергия системы. Первый закон термодинамики. Работа и теплота. Энтальпия.

Литература: [1, с. 25 … 31; 2, с. 12 … 14]

Термодинамические процессы в газах: изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы

Литература: [1, с. 32 … 41; 2, с. 15 … 22]

Самостоятельная работа студентов. (6 часов) Первый закон термодинамики. Термодинамические процессы в газах.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Внутренняя энергия системы. Первый закон термодинамики. Работа и теплота. Энтальпия. Энтропия.

Литература: [1, с. 25 … 31; 2, с. 12 … 14]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Термодинамические процессы в газах: изохорный процесс; изобарный процесс; изотермический процесс; адиабатный процесс; политропные процессы.

Литература: [1, с. 32 … 41; 2, с. 15 … 22]

Лекция 3. (2 часа)

Тема1.3. Второй закон термодинамики

Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона термодинамики. Круговые процессы (циклы). Термический КПД цикла тепловой машины.

Литература: [1, с. 42 … 48; 2, с.23 … 32]

Цикл Карно и теоремы Карно. Приведенная теплота и неравенство Клаузиуса. Энтропия и её свойства. Координаты $T-s$. Координаты i – s

Литература: [1, с. 49 … 67; 2, с.3 3 … 43]

Самостоятельная работа студентов. (6 часов) Второй закон термодинамики.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона термодинамики. Круговые процессы (циклы). Термический КПД цикла тепловой машины.

Литература: [1, с. 42 … 48; 2, с. 23 … 32]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Цикл Карно и теоремы Карно. Приведенная теплота и неравенство Клаузиуса. Энтропия и её свойства. Координаты $T-s$. Координаты i – s.

Литература: [1, с. 49 … 67; 2, с. 33 … 43]

Лекция 4. (4 часа)

Тема 1.4. Основные уравнения термодинамики газового потока

Основные допущения. Уравнение неразрывности. Уравнение сохранения энергии. Обобщенное уравнение Бернулли. Параметры адиабатно заторможенного потока.

Литература: [1, с. 68 … 79; 2, с. 44 … 48]

Уравнение сохранения энергии в параметрах заторможенного потока. Частные случаи уравнения сохранения энергии для элементов двигателя. Критические параметры потока. Приведенная скорость. Газодинамические функции.

Литература: [1, с. 80 … 90; 2, с. 49 … 56]

Самостоятельная работа студентов. (6 часа) Основные уравнения термодинамики газового потока.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Основные допущения. Уравнение неразрывности. Уравнение сохранения энергии. Обобщенное уравнение Бернулли. Параметры адиабатно заторможенного потока.

Литература: [1, с. 68 … 79; 2, с. 44 … 48]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Уравнение сохранения энергии в параметрах заторможенного потока. Частные случаи уравнения сохранения

энергии для элементов двигателя. Критические параметры потока. Приведенная скорость. Газодинамические функции.

Литература: [1, с. 80 … 90; 2, с. 49 … 56]

Лекция 5. (4 часа)

Тема 1.5. Разгон и торможение газового потока

Особенности разгона и торможения газового потока при различных воздействиях. Уравнение обращения воздействий в газовых потоках. Форма канала, необходимая для разгона и торможения газового потока.

Литература: [1, с. 91 … 95; 2, с. 57 … 62]

Идеальное течение газа в суживающемся сопле. Основные параметры сопла. Возможные режимы работы сопла. Скорость истечения газа из сопла. Расход газа через сопло.

Литература: [1, с. 96 … 118; 2, с. 63 … 71]

Лабораторная работа № 2. (4 часов) Исследование процессов разгона и торможения потока при наличии трения и подогрева газа.

Литература: [4, с. 15 … 22]

Самостоятельная работа студентов. (6 часов) Разгон и торможение газового потока.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Особенности разгона и торможения потока при различных воздействиях. Уравнение обращения воздействий в газовых потоках. Форма канала, необходимая для разгона и торможения газового потока.

Литература: [1, с. 91 … 95; 2, с. 57 … 62]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Идеальное течение газа в суживающемся сопле. Основные параметры сопла. Возможные режимы работы сопла. Скорость истечения газа из сопла. Расход газа через сопло.

Литература: [1, с. 96 … 118; 2, с.63 … 71]

Лекция 6. (4 часа)

Тема 1.6. Идеальные циклы тепловых двигателей.

Термодинамический метод исследования циклов тепловых двигателей. Циклы газотурбинных двигателей: цикл Брайтона и его применение в ГТД; цикл Хемфри и его применение; циклы ГТД со ступенчатым подводом теплоты.

Литература: [1, с. 119 … 130; 2, с. 72 … 78]

Циклы поршневых двигателей: цикл Отто; цикл Дизеля. Цикл Брайтона с регенерацией теплоты. Циклы поршневых двигателей с утилизацией теплоты.

Литература: [1, с. 131 … 141; 2, с. 79 … 82]

Лабораторная работа № 3. (4 часов) Исследование цикла Брайтона.

Литература: [4, с. 23 … 31]

Самостоятельная работа студентов. (6 часов) Идеальные циклы тепловых двигателей.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Термодинамический метод исследования циклов тепловых двигателей. Циклы газотурбинных двигателей: цикл Брайтона и его применение в ГТД; цикл Хемфри и его применение; циклы ГТД со ступенчатым подводом теплоты.

Литература: [1, с. 119 … 130; 2, с. 72 … 78]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Циклы поршневых двигателей: цикл Отто; цикл Дизеля. Цикл Брайтона с регенерацией теплоты. Циклы поршневых двигателей с утилизацией теплоты.

Литература: [1, с. 131 … 141; 2, с. 79 … 82]

РАЗДЕЛ 2. Теплопередача

Лекция 7. (2 часа)

Тема 2.1. Виды теплообмена. Теплопроводность.

Основные понятия и определения: виды переноса теплоты; температурное поле; тепловой поток. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоской стенки. Теплопроводность цилиндрической стенки. Контактное тепловое сопротивление.

Литература: [1, с. 177 … 193; 3, с. 3 … 11]

Лабораторная работа № 4. (4 часа) Определение коэффициента теплопроводности латунного стержня.

Литература: [4, с. 32 … 39]

Самостоятельная работа студентов. (4 часа) Виды теплообмена. Теплопроводность

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Основные понятия и определения: виды переноса теплоты; температурное поле; тепловой поток. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоской стенки. Теплопроводность цилиндрической стенки. Контактное тепловое сопротивление.

Литература: [1, с. 177 … 193; 3, с. 3 … 11]

Лекция 8. (2 часа)

Тема 2.2. Конвективный теплообмен.

Физическая картина процесса конвективного теплообмена: пограничный слой; факторы, влияющие на интенсивность теплоотдачи. Формула Ньютона. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.

Литература: [1, с. 194 … 203; 3, с.12 … 18]

Основы теории подобия процессов теплообмена: основные понятия и определения теории подобия физических процессов; применение теории подобия к конвективному теплообмену (критерии подобия и их физический смысл, критериальные уравнения); **моделирование** физических явлений.

Литература: [1, с. 204 … 219; 3, с. 22 … 25]

Конвективный теплообмен при вынужденном внешнем обтекании тел: теплоотдача при обтекании плоской пластины; особенности теплоотдачи при обтекании криволинейных поверхностей. Конвективный теплообмен при вынужденном течении в каналах. Особенности теплообмена при движении газа с большой скоростью. Конвективный теплообмен при свободном движении теплоносителя.

Литература: [1, с. 220 … 246; 3, с. 26 … 31]

Лабораторная работа № 5. (4 часа) Определение коэффициента теплоотдачи при свободном движении теплоносителя.

Литература: [4, с. 40 … 52]

Самостоятельная работа студентов. (4 часа) Конвективный теплообмен.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Физическая картина процесса конвективного теплообмена: пограничный слой; факторы, влияющие на интенсивность теплоотдачи. Формула Ньютона. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.

Литература: [1, с. 194 … 203; 3, с. 12 … 21]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Основы теории подобия процессов теплообмена: основные понятия и определения теории подобия физических процессов; применение теории подобия к конвективному теплообмену (критерии подобия и их физический смысл, критериальные уравнения); моделирование физических явлений.

Литература: [1, с. 204 … 219; 3, с. 22 … 25]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Конвективный теплообмен при вынужденном внешнем обтекании тел: теплоотдача при обтекании плоской пластины; особенности теплоотдачи при обтекании криволинейных поверхностей. Конвективный теплообмен при вынужденном течении в каналах. Особенности теплообмена при движении газа с большой скоростью. Конвективный теплообмен при свободном движении теплоносителя.

Литература: [1, с. 220 … 246; 3, с. 26 … 31]

Лекция 9. (2 часа)

Тема 2.3. Теплообмен излучением (2 часа)

Основные понятия и законы теплового излучения. Особенности излучения реальных тел. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Влияние экранов на теплообмен излучением. Особенности излучения газов и пламени.

Литература: [1, с. 247 … 261; 3, с. 35 … 46]

Лабораторная работа № 6. (4 часа) Определение коэффициента теплового излучения серого тела и излучаемого им теплового потока.

Литература: [4, с. 53 … 63]

Самостоятельная работа студентов. (4 часа) Теплообмен излучением.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Основные понятия и законы теплового излучения. Особенности излучения реальных тел. Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Влияние экранов на теплообмен излучением. Особенности излучения газов и пламени.

Литература: [1, с. 247 … 261; 3, с. 35 … 46]

Лекция 10. (2 часа)

Тема 2.4. Передача теплоты через стенки. Методы тепловой защиты

Передача теплоты через плоскую стенку. Передача теплоты через цилиндрическую стенку. Тепловая изоляция. Передача теплоты через ребро и оребренную стенку.

Литература: [1, с. 266 … 278; 3, с. 47 … 54]

Методы тепловой защиты: конвективное охлаждение; заградительное охлаждение; проникающее охлаждение; теплозащитные покрытия.

Литература: [1, с. 279 … 290; 3, с. 55 … 63]

Самостоятельная работа студентов. (4 часа) Передача теплоты через стенки. Методы тепловой защиты.

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Передача теплоты через плоскую стенку. Передача теплоты через цилиндрическую стенку. Тепловая изоляция. Передача теплоты через ребро и оребренную стенку.

Литература: [1, с. 266 … 278; 3, с. 47 … 54]

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Методы тепловой защиты: конвективное охлаждение; заградительное охлаждение; проникающее охлаждение; теплозащитные покрытия.

Литература: [1, с. 279 … 290; 3, с. 55 … 63]

Лекция 19. (2 часа)

Тема2.5. Теплообменные аппараты

Основные типы теплообменных аппаратов и их применение. Теплопередача в рекуперативных теплообменниках; изменение температуры теплоносителей; средний температурный напор. Тепловой расчет рекуперативного теплообменника.

Литература: [1, с. 299 … 311; 3, с. 64 … 70]

Самостоятельная работа студентов. (4 часа). Теплообменные аппараты (2 часа)**.**

Изучение лекционного материала.

Темы для самостоятельного изучения: Основные типы теплообменных аппаратов и их применение. Теплопередача в рекуперативных теплообменниках;

изменение температуры теплоносителей; средний температурный напор. Тепловой расчет рекуперативного теплообменника.

Литература: [1, с. 299 … 311; 3, с. 64 … 70]

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Техническая термодинамика и теплопередача» способствует более глубокому усвоению изучаемого курса, формирует навыки исследовательской работы по вопросам газодинамических процессов и теплообмену, происходящих в элементах авиационных двигателей и летательных аппаратов. Она ориентирует студента на умение применять полученные теоретические знания на практике и проводится в следующих видах:

- проработка лекционного материала;
- подготовка к выполнению и защите лабораторных работ;
- подготовка к экзамену.

Для самостоятельной работы студенту рекомендуется следующая литература:

1. Кобельков В.Н., Улас В.Д. Федоров Р.М. Термодинамика и теплопередача. Под ред. Р.М.Федорова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2012 г. 328 с.
2. Котовский В.Н. «Техническая термодинамика». – М.: МГТУ ГА, 2015.
3. Котовский В.Н. «Теплопередача». – М.: МГТУ ГА, 2015.
4. Аршинов В.А., Котовский В.Н., Стреляев Д.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Пособие по выполнению лабораторных работ.- М.: МГТУГА, 2014. 64с.
5. Машошин О.Ф., Котовский В.Н. Техническая термодинамика и теплопередача. Сборник задач. – М.: МГТУ ГА, 2016.
6. Шулекин В.Т.Теплотехника. Ч.1 Тексты лекций. – М.: МГТУ ГА, 2007. 148с.
7. Теория тепломассообмена: Учебник для технических университетов и вузов /С.И.Исаев, И.А.Кожинов, В.И.Кофанов и др.; Под ред. А.И.Леонтьева. – 2-е изд. испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана,1997. 683с.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

6.1 Текущий контроль успеваемости

Показатели и критерии оценивания сформированности компетенций на различных этапах их формирования.

Форма текущего контроля	**Типовые контрольные задания (вопросы)**	**Критерии оценивания**
Защита отчета по ЛР №1. «Определение теплоёмкости воздуха»	1. Влияние типа термодинамического процесса на теплоёмкость газов 2. Влияние рода газа на его теплоёмкость 3. Влияние параметров состояния газа на его теплоёмкость. 4. Истинная теплоёмкость газов 5. Средняя теплоёмкость газов 6. Теплоёмкость реального газа 7. Теплоёмкость газа в различных термодинамических процессах 8. Уравнение Майера 9. Уравнение теплового баланса для лабораторной установки 10. Примеры использования теплоёмкости газов при расчетах термодинамических и тепловых процессов в элементах ГТД и ЛА 11. Устройство и принцип действия лабораторной установки 12. Соотношение между различными видами теплоёмкости (C_p и C_v) 13. Определение C_p и C_v через показатель адиабаты и газовую постоянную газа 14. Физическая сущность газовой постоянной газа 15. Зависимость теплоёмкости газов от температуры и давления	Зачет по лабораторной работе принимается при выполнении следующих условий: - отчет соответствует требованиям, изложенным в Пособии по выполнению лабораторных работ; - отчет выполнен аккуратно и без ошибок в расчетах; - даны исчерпывающие ответы на контрольные вопросы; - показано владение основной и дополнительной литературой; - ответы отличаются четкостью и логической последовательностью.
Защита отчета по ЛР № 2. «Исследование процессов разгона и торможения потока при наличии трения и подогрева газа»	1. Сформулируйте и запишите закон обращения воздействия. 2. Сформулируйте и запишите закон обращения воздействия для сопла трения.	Зачет по лабораторной работе принимается при выполнении следующих условий: - отчет соответствует требованиям,

	3. Сформулируйте и запишите закон обращения воздействия для теплового сопла. 4. Почему полное давление газа при течении в сопле трения снижается? 5. Изобразите графически, обоснуйте аналитически и поясните характер изменения параметров потока по длине сопла трения. 6. Изобразите графически, обоснуйте аналитически и поясните характер изменения параметров потока по длине теплового сопла. 7. Запишите и объясните уравнение Бернулли в дифференциальной форме для сопла трения. 8. Запишите и объясните уравнение энергии в дифференциальной форме для сопла трения и теплового сопла.	изложенным в Пособии по выполнению лабораторных работ; - отчет выполнен аккуратно и без ошибок в расчетах; - даны исчерпывающие ответы на контрольные вопросы; - показано владение основной и дополнительной литературой; - ответы отличаются четкостью и логической последовательностью.
Защита отчета по ЛР № 3. «Исследование циклы Брайтона»	1. В каких тепловых двигателях реализуется цикл Брайтона? 2. Из каких процессов состоит цикл Брайтона? 3. Назовите основные параметры цикла Брайтона. 4. Что представляет собой работа цикла Брайтона в *p,v*-координатах? 5. Как определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла? 6. От каких параметров цикла и рабочего тела зависит работа цикла Брайтона? 7. Как зависит работа цикла Брайтона от степени повышения давления в цикле и степени подогрева рабочего тела? 8. Что называется оптимальной степенью повышения давления в	Зачет по лабораторной работе принимается при выполнении следующих условий: - отчет соответствует требованиям, изложенным в Пособии по выполнению лабораторных работ; - отчет выполнен аккуратно и без ошибок в расчетах; - даны исчерпывающие ответы на контрольные вопросы; - показано владение основной и

	цикле Брайтона и от чего она зависит? 9. Что называется термическим КПД цикла Брайтона? 10. Что характеризует термический КПД цикла Брайтона и какие потери он учитывает? 11. От каких параметров цикла зависит термический КПД цикла Брайтона? 12. Как зависит термический КПД цикла Брайтона от степени повышения давления в цикле?	дополнительной литературой; - ответы отличаются четкостью и логической последовательностью.
Защита отчета по ЛР № 4. «Определение коэффициента теплопроводности латунного стержня»	1. Что называется теплопроводностью вещества? 2. Какой механизм переноса теплоты теплопроводностью? 3. Чем отличается процесс теплопроводности в газах, твердых телах, жидкостях и металлах? 4. Что называется температурным полем? 5. Что называется изотермической поверхностью и изотермой? 6. Что называется градиентом температуры? 7. От чего зависит коэффициент теплопроводности?	Зачет по лабораторной работе принимается при выполнении следующих условий: - отчет соответствует требованиям, изложенным в Пособии по выполнению лабораторных работ; - отчет выполнен аккуратно и без ошибок в расчетах; - даны исчерпывающие ответы на контрольные вопросы; - показано владение основной и дополнительной литературой; - ответы отличаются четкостью и логической последовательностью.
Защита отчета по ЛР № 5. «Определение коэффициента	1. В чем заключается процесс теплообмена при свободной (естественной) конвекции?	Зачет по лабораторной работе принимается при

теплоотдачи при свободном движении теплоносителя»	2. Где встречаются явления естественной конвекции в ГТД? 3. Для чего применяется теория подобия при проведении теплофизических расчётов? 4. Что характеризует число Прандтля? 5. Объясните характер изменения коэффициента теплоотдачи при течении теплоносителя около нагретой стенки?	выполнении следующих условий: - отчет соответствует требованиям, изложенным в Пособии по выполнению лабораторных работ; - отчет выполнен аккуратно и без ошибок в расчетах; - даны исчерпывающие ответы на контрольные вопросы; - показано владение основной и дополнительной литературой; - ответы отличаются четкостью и логической последовательностью.
Защита отчета по ЛР № 6. «Определение коэффициента теплового излучения серого тела и излучаемого им теплового потока»	1. Какое число называется абсолютно черным, абсолютно белым и абсолютно прозрачным? 2. Запишите и объясните закон Стефана – Больцмана? 3. Какой вывод следует из закона Кирхгофа? 4. Как рассчитать теплообмен излучением между двумя телами. 5. Расскажите об устройстве лабораторной установки?	Зачет по лабораторной работе принимается при выполнении следующих условий: - отчет соответствует требованиям, изложенным в Пособии по выполнению лабораторных работ; - отчет выполнен аккуратно и без ошибок в расчетах; - даны исчерпывающие ответы на контрольные вопросы;

		- показано владение основной и дополнительной литературой; - ответы отличаются четкостью и логической последовательностью.

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

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется в форме защиты отчета по выполненной лабораторной работе. Процедуры оценивания знаний, умений и навыков при текущем контроле успеваемости осуществляются последовательно по мере прохождения лекционного курса в соответствии с матрицей соотнесения тем/разделов учебной дисциплины и формируемых в них профессиональных компетенций.

Защита отчета по лабораторной работе осуществляется, как правило, в конце занятия. Преподаватель оценивает знания обучающегося по ответам на контрольные вопросы, умения и навыки оцениваются в ходе занятия. Если студент не отчитался на занятии, то защита отчета по лабораторной работе осуществляется в дни и часы СРС по согласованию с ведущим преподавателем. Результаты текущего контроля учитываются преподавателем в журнале учета занятий (или личном журнале преподавателя).

6.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация – оценка качества освоения студентом учебной дисциплины в целом, в том числе степени сформированности компетенций, знаний, умений и навыков, проводимая на экзамене. Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в виде экзамена.

Показатели и критерии оценивания сформированности компетенций по дисциплине.

Типовые контрольные задания (вопросы)	Критерии оценивания
УК – 1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач. *1. Сформулируйте и запишите закон обращения воздействия.*	Знания, умения и навыки обучающихся на экзамене определяются оценками: **«отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».**

2. Сформулируйте и запишите закон обращения воздействия для сопла трения. *3. Сформулируйте и запишите закон обращения воздействия для теплового сопла.* *4. Почему полное давление газа при течении в сопле трения снижается?* *5. Изобразите графически, обоснуйте аналитически и поясните характер изменения параметров потока по длине сопла трения.* *6. Изобразите графически, обоснуйте аналитически и поясните характер изменения параметров потока по длине теплового сопла.* *7. Запишите и объясните уравнение Бернулли в дифференциальной форме для сопла трения.* *8. Запишите и объясните уравнение энергии в дифференциальной форме для сопла трения и теплового сопла.* ОПК-1. Способен использовать основные законы математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, теоретической механики, гидравлики, имеющие отношение к техническому обслуживанию воздушных судов. *1. Что называется теплопроводностью вещества?* *2. Какой механизм переноса теплоты теплопроводностью?* *3. Чем отличается процесс теплопроводности в газах, твердых телах, жидкостях и металлах?* *4. Что называется температурным полем?* *5. Что называется изотермической поверхностью и изотермой?* *6. Что называется градиентом температуры?* *7. От чего зависит коэффициент теплопроводности?*	При определении оценки экзаменатор руководствуется следующим общими критериями. Оценка «**отлично**» выставляется при следующих условиях: • даны исчерпывающие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные в экзаменационном билете; • правильно решена задача и показано умение грамотно применять полученные теоретические знания в практических целях; • показано глубокое и творческое овладение основной и дополнительной литературой; • ответы отличаются четкостью, мысли излагаются в необходимой логической последовательности. Оценка «**хорошо**» выставляется при следующих условиях: • даны полные, достаточно глубокие и обоснованные ответы на вопросы, поставленные в экзаменационном билете; • правильно решена задача, но ход ее решения не является оптимальным; • даны полные, но недостаточно обоснованные ответы на дополнительные вопросы; • показаны глубокие знания основной литературы и недостаточное знакомство с дополнительной литературой; • ответы в основном были четкими, но в них не всегда выдерживалась логическая последовательность. Оценка «**удовлетворительно**» выставляется при следующих условиях: • даны в основном правильные ответы на все вопросы экзаменационного билета, но без должной глубины и обоснования;

	• в решении задачи допущены отдельные ошибки, не приведшие к большим отклонениям от правильного ответа; • не даны положительные ответы на некоторые дополнительные вопросы; • показаны недостаточные знания основной литературы; • ответы были многословными, мысли излагались недостаточно четко и без должной логической последовательности. Оценка «**неудовлетворительно**» выставляется в случаях, когда не выполнены условия, позволяющие поставить оценку «удовлетворительно». При выставлении экзаменационной оценки учитывается уровень методической подготовленности студента, а также аккуратность и логическая последовательность письменного изложения ответов на вопросы экзаменационного билета.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих формирование компетенций

На основании вопросов для подготовки к экзамену формируются билеты в количестве на 25-30% более списочного состава группы студентов.

Каждый билет включает в себя контрольные задания (вопросы), ответы на которые определяют сформированность всех компетенций, формируемых данной дисциплиной. Дисциплина «Техническая термодинамика и теплопередача» формирует 2 компетенции, поэтому каждый билет включает в себя 2 вопроса, каждый из которых определяет сформированность одной из компетенций или ее части. Первый вопрос по компетенции УК-1, второй вопрос по компетенции ОПК-1. Получение неудовлетворительной оценки по одному из вопросов говорит о несформированности соответствующей компетенции, что является недопустимым, поэтому в данном случае общая оценка за промежуточную аттестацию будет «неудовлетворительно».

Порядок подготовки и проведения промежуточной аттестации.

Подготовка к промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с утвержденной рабочей программой по дисциплине, содержащей перечень вопросов, выносимых на экзамен.

Экзамен для студентов проводится устно.

За неявку студента без уважительной причины на экзамен в день его проведения по расписанию выставляется неудовлетворительная оценка, и процесс последующей сдачи приравнивается к пересдаче.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

а) основная литература:

1. Кобельков В.Н., Улас В.Д. Федоров Р.М. Термодинамика и теплопередача. Под ред. Р.М.Федорова. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2012 г. 328 с.
2. Котовский В.Н. «Техническая термодинамика». – М.: МГТУ ГА, 2015.
3. Котовский В.Н. «Теплопередача». – М.: МГТУ ГА, 2015.
4. Машошин О.Ф., Котовский В.Н. Техническая термодинамика и теплопередача. Сборник задач. – М.: МГТУ ГА, 2016.

б) дополнительная литература:

5. Шулекин В.Т.Теплотехника. Ч.1 Тексты лекций. – М.: МГТУ ГА, 2007. 148с.
6. Теория тепломассообмена: Учебник для технических университетов и вузов /С.И.Исаев, И.А.Кожинов, В.И.Кофанов и др.; Под ред. А.И.Леонтьева. – 2-е изд. испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана,1997. 683с.

в) учебно-методическая литература для проведения лабораторных работ:

7. Аршинов В.А., Котовский В.Н., Стреляев Д.В. Техническая термодинамика и теплопередача. Пособие по выполнению лабораторных работ.- М.: МГТУГА, 2014. 64с.

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ" (ДАЛЕЕ - СЕТЬ "ИНТЕРНЕТ"), НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- www.mstuca.ru - электронные ресурсы Университета - электронные версии пособий, методических разработок по всем видам учебной работы;
- http://www.mintrans.ru – официальный сайт Минтранспорта РФ;
- Электронные ресурсы библиотеки Университета - электронные версии пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы:
- http://www.mintrans.ru – официальный сайт Министерства транспорта РФ;
- http://www.favt.ru/ - Федеральное агентство воздушного транспорта;

- http://www.mlgvs.ru/library.html#search - Центральная нормативно-методическая библиотека ГА;
- Программы кафедры на алгоритмическом языке фортран и EXCEL для обработки результатов экспериментальных исследований при проведении лабораторных работ по дисциплине «Техническая термодинамика и теплопередача».

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении учебного курса «Техническая термодинамика и теплопередача» помимо посещения студентами лекций и активного участия в групповых формах занятий (лабораторные работы) учебным планом по данной дисциплине предусмотрена самостоятельная форма работы студентов. По каждой теме, включенной в рабочую программу, предусмотрено соответствующее количество часов на самостоятельное изучение некоторых вопросов. Вопросы на самостоятельную работу, по которым необходимо углубленное изучение, позволяют подробно разобрать ситуации, рассмотрение и анализ которых будет способствовать становлению и развитию профессиональной компетентности, поможет приобрести навыки и умения, необходимые современному специалисту, обучающемуся по направлению подготовки **25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей.**

При этом необходимо учитывать следующие моменты.

Лекция - является основным видом аудиторной работы студентов. В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации и указания на самостоятельную работу.

При написании конспекта лекций необходимо кратко, схематично и последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки и обобщения. Помечать важные мысли, выделять ключевые слова и термины. Проверка терминов и понятий производится с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Следует обозначить вопросы, термины и материал, который вызывает трудности, помечать его и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или на лабораторном занятии.

Лабораторная работа. При подготовке к проведению лабораторной работы следует внимательно изучить содержание методического пособия по выполнению лабораторной работы и соответствующий лекционный материал. Следует также подготовить ответы на контрольные вопросы, перечисленные в руководстве к проведению лабораторной работы.

Подготовка к экзамену. При подготовке к экзамену необходимо ориентироваться на конспект лекций, рекомендуемую литературу и другие литературные источники.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

При чтении лекций по всем темам дисциплины активно используется компьютерная техника для демонстрации слайдов и анимаций с помощью программного приложения Microsoft Power Point (например, специализированные аудитории кафедры).

При этом перечень информационных технологий включает:

- сбор, хранение, систематизация и выдача учебной и научной информации;
- обработку текстовой, графической и эмпирической информации;
- подготовку, конструирование и презентацию итогов исследовательской и аналитической деятельности;
- самостоятельный поиск дополнительного учебного и научного материала, с использованием поисковых систем и сайтов сети Интернет, электронных энциклопедий и баз данных;
- использование электронной почты преподавателей и обучающихся для рассылки, переписки и обсуждения возникших учебных проблем.

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Специализированная лаборатория кафедры ДЛА (202Б), оснащенная оборудованием для проведения лабораторных работ.
2. Компьютер преподавателя HP P3130 PRO.
3. Интерактивная проекционная система Smartboart SBX 880i4/UF65.
4. Экспериментальные установки для проведения следующих лабораторных работ:
   - Определение теплоёмкости воздуха;
   - Исследование процессов разгона и торможения потока при наличии трения и подогрева газа;
   - Исследование цикла Брайтона;
   - Определение коэффициента теплопроводности латунного стержня;
   - Определение коэффициента теплоотдачи при свободном движении теплоносителя;
   - Определение коэффициента теплового излучения серого тела и излучаемого им теплового потока.
5. Стенды чертежей разрезов различных типов авиационных двигателей.
6. Комплекты плакатов дисциплине «Техническая термодинамика и теплопередача».