ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА (РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ ИМЕНИ ГЛАВНОГО МАРШАЛА АВИАЦИИ А.А. НОВИКОВА»

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

_____ /Ю.Ю.Михальчевский/

«23» ноября 2023 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Термодинамика и теория авиационных двигателей

Направление подготовки

25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей

Профиль

Поддержание летной годности

Квалификация выпускника

бакалавр

Форма обучения

очная

Санкт-Петербург

2023

1 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Термодинамика и теория авиационных двигателей» являются формирование знаний, умений, навыков и компетенций, в том числе на основе способности к восприятию, анализу, сущности процессов, происходящих при взаимодействии веществ, и применение основных законов, положений высшей математики и физики, имеющих отношение к техническому обслуживанию воздушных судов для успешной профессиональной деятельности выпускников для подготовки специалистов по профилю: «Поддержание летной годности»

Задачами освоения дисциплины являются:

- углубленное изучение студентами вопросов, связанных с изучением основ термодинамики и теории (организации рабочего процесса) элементов ГТД, принципов их работы, характеристик элементов ГТД и двигателя в целом;
- овладение методами осуществления термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях;
- выработать необходимость изучения научно-технической информации отечественного и зарубежного опыта авиационного двигателестроения;
- развития у студентов самостоятельности, уверенности в выборе форм и методов анализа результатов исследований (выполненного задания) и умения анализировать полученные результаты, сформулировать предложения по их внедрению;
- обучения студентов методам проведения экспериментов, привитие навыков обобщения полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным оборудованием, аппаратурой, измерительными приборами, вычислительной техникой и приобретение знаний по соблюдению правил техники безопасности;
- развития у студентов способности осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;
- формирование у студентов прочной теоретической базы, позволяющей авиационному специалисту принимать правильные и грамотные решения по диагностике, лётной и технической эксплуатации авиационных силовых установок при условии обеспечения лётной годности воздушных судов и безопасности полётов.

Дисциплина обеспечивает подготовку обучающегося к решению задач профессиональной деятельности организационно-управленческого и эксплуатационно-технологического типа.

2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Термодинамика и теория авиационных двигателей» представляет собой дисциплину части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 Дисциплины (модули).

Данная дисциплина базируется на результатах обучения, полученных при

изучении школьного курса физики.

Дисциплина «Термодинамика и теория авиационных двигателей» является обеспечивающей для дисциплин: «Конструкция и прочность авиационных двигателей», «Конструкция воздушных судов и авиационных двигателей», «Системы воздушных судов и авиационных двигателей», «Испытание авиационных двигателей».

Дисциплина изучается в 1 и 2 семестре.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс освоения дисциплины «Термодинамика и теория авиационных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

Код компетенции / индикатора	Результат обучения: наименование компетенции; индикаторы компетенции
ОПК-1	Способен использовать основные задачи математики, единицы измерения, фундаментальные принципы и теоретические основы физики, технической механики, гидравлики, имеющие отношение к техническому обслуживанию воздушных судов.
$ИД^{1}_{ОПК1}$	Способен применять основные законы, положения высшей математики для формализации прикладных задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности.
$ИД^{2}_{ОПК1}$	Применяет законы физики для оценки значений параметров физических систем.
$ИД^{3}_{ОПК1}$	Способен рассчитывать элементы авиационных конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.
$ИД^{4}_{ОПК1}$	Анализировать процессы, происходящие при взаимодействии веществ.
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
$ИД^{1}_{УК1}$	Осуществляет поиск информации об объекте, определяет достоверность полученной информации.
$ИД^{2}_{УК1}$	Формирует целостное представление об объекте, а также о сущности и последствиях его функционирования.

Планируемые результаты изучения дисциплины:

Знать:

- основные законы термодинамики и газовой динамики, методы тепловой защиты элементов авиационной техники;

- методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении практических задач по расчёту параметров термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях на основе знаний термодинамики и теории авиационных двигателей;
- классификацию авиационных двигателей, особенности их работы, области их применения;
- основные параметры авиационных двигателей, требования, предъявляемые к современным ГТД;
- назначение, основные параметры, конструктивное выполнение, принципы работы конструктивных элементов и организацию в них рабочего процесса;
- основные эксплуатационные ограничения силовых установок;
- влияние атмосферных условий и условий эксплуатации на характеристики конструктивных элементов авиационных двигателей и авиационных двигателей в целом.

Уметь:

- анализировать расчеты параметров в конструктивных элементов авиационных двигателей в процессе эксплуатации для осуществления контроля и анализа их состояния;
- производить расчет параметров термодинамических процессов при решении профессиональных задач;
- оценивать влияние атмосферных условий на характеристики авиационных двигателей, для осуществления контроля и анализа их состояния;
- осуществлять поиск, проводить критический анализ информации, применять системный подход при решении поставленных задач.

Владеть:

- навыками расчета параметров термодинамических процессов, протекающих в конструктивных элементах авиационных двигателей;
- методами оценивания термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях.
- навыками поиска информации об объекте, определения достоверности полученной информации.

4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единицы, 216 академических часа.

Наименование	Всего часов	Семестры	
		1	2
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108
Контактная работа, всего	81	44,5	36,5
лекции	32	14	18
практические занятия	42	28	14
семинары	-	-	-
лабораторные работы	-	-	-
курсовые работы	4	0	4
Самостоятельная работа студента	84	30	54
Промежуточная аттестация	54	36	18
контактная работа	3	2,5	0,5
самостоятельная работа по подготовке к экзамену, зачету с оценкой	51	33,5	17,5

5 Содержание дисциплины

5.1. Соотнесения тем дисциплины и формируемых компетенций

Темы дисциплины	Количество часов	Компетенции		Образовательные технологии	Оценочные средства
		УК-1	ОПК-1		
Раздел 1. Термодинамика					
Тема 1.1. Основные понятия термодинамики. Первый закон термодинамики.	6			Л, ПЗ, СРС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.2. Основные термодинамические процессы.	6	+		Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ,

Темы дисциплины	Количество часов	Компетенции		Образовательные технологии	Оценочные средства
		УК-1	ОПК-1		
					РЗ, СЗ
Тема 1.3.Второй закон термодинамики. Циклы тепловых двигателей.	8			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.4. Термодинамика газового потока.	18			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Тема 1.5. Основы теплопередачи.	14			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, ИДЗ, РЗ, СЗ
Раздел 2. Теория авиационных двигателей. Организация рабочего процесса в элементах ГТД.					
Тема 2.1. Принцип работы и основные параметры ГТД.	10			Л, РКС, ПЗ, СРС	УО, РЗ, СЗ
Тема 2.2. Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД.	10			Л, РКС, ПЗ, СРС	УО РЗ, СЗ
Итого за 1 семестр	72				
Промежуточная аттестация	36				
Всего за 1 семестр	108				
Раздел 2. Теория авиационных двигателей. Организация рабочего процесса в элементах ГТД.					
Тема 2.3. Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД.	16			Л, ПЗ, СРС, РКС, КУП	ТО, РЗ, СЗ
Тема 2.4. Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД.	6			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, РЗ, СЗ

Темы дисциплины	Количество часов	Компетенции		Образовательные технологии	Оценочные средства
		УК-1	ОПК-1		
Тема 2.5. Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД.	6			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, РЗ, СЗ
Раздел 3. Теория авиационных двигателей. Рабочий процесс и характеристики ГТД.					
Тема 3.1. Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД.	14			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, РЗ, СЗ
Тема 3.2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД.	12			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, РЗ, СЗ
Тема 3.3. Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД)	12			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, РЗ, СЗ
Тема 3.4. Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД).	12			Л, ПЗ, СРС, РКС	ТО, РЗ, СЗ
Тема 3.5. Неустановившиеся режимы работы ГТД	6			Л, СРС	ТО, РЗ, СЗ
Тема 3.6. Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД.	6			Л, СРС	ЗКУП
Итого за 2 семестр	90				
Промежуточная аттестация	18				
Всего за 2 семестр	108				
Всего по дисциплине	216				

Сокращения: Л – лекция, ИЛ – интерактивная лекция, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа, ТО – текущий опрос, ИДЗ – индивидуальное домашнее задание, СРС − самостоятельная работа студента, КУП – курсовой проект, РКС – разбор конкретной ситуации, РЗ – расчетная задача, СЗ – ситуационная задача, КР – контрольная работа.

5.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

Наименование темы дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС	КУП	Всего часов
Раздел 1. Термодинамика						
Тема 1.1. Основные понятия термодинамики. Первый закон термодинамики.	2	2	–	2	–	6
Тема 1.2. Основные термодинамические процессы.	2	2	–	2	–	6
Тема 1.3.Второй закон термодинамики. Циклы тепловых двигателей.	2	4	–	2	–	8
Тема 1.4. Термодинамика газового потока.	2	10	–	6	–	18
Тема 1.5. Основы теплопередачи.	2	6	–	6	–	14
Раздел 2. Теория авиационных двигателей. Организация рабочего процесса в элементах ГТД.						
Тема 2.1. Принцип работы и основные параметры ГТД.	2	2	–	6	–	10
Тема 2.2. Организация рабочего процесса во входных устройствах ГТД.	2	2	–	6	–	10
Итого за 1 семестр	14	28	–	30	–	72
Промежуточная аттестация						36
Всего за 1 семестр						108
Раздел 2. Теория авиационных двигателей. Организация рабочего процесса в элементах ГТД.						
Тема 2.3. Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД.	2	2	–	8	4	16
Тема 2.4. Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД.	2	2	–	2	–	6
Тема 2.5. Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД.	2	2	–	2	–	6
Раздел 3. Теория авиационных двигателей. Рабочий процесс и характеристики ГТД.						
Тема 3.1. Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД.	2	2		10		14
Тема 3.2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД.	2	2		8		12

Наименование темы дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	СРС	КУП	Всего часов
Тема 3.3. Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД)	2	2		8		12
Тема 3.4. Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД).	2	2		8		12
Тема 3.5. Неустановившиеся режимы работы ГТД	2			4		6
Тема 3.6. Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД.	2			4		6
Итого за 2 семестр	18	14		54	4	90
Промежуточная аттестация						18
Всего за 2 семестр						108
Всего по дисциплине						216

Сокращения: Л − лекция, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа, СРС − самостоятельная работа студента, КУП – курсовой проект.

5.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Термодинамика

Тема 1.1. Основные понятия термодинамики. Первый закон термодинамики

Введение. Учебная Дисциплина «Термодинамика и теория авиационных двигателей», цель её изучения, место и значение в системе подготовки высококвалифицированных авиационных специалистов. Основные понятия и определения термодинамики: термодинамическая система (ТДС), внешняя (окружающая) среда, рабочее тело, источники теплоты и работы, закрытые и открытые ТДС. Газ, как рабочее тело ТДС. Идеальный и реальный газы. Параметры состояния рабочего тела. Уравнение состояния идеального газа. Определение, графическое изображение термодинамического процесса. Обратимый и необратимый процессы. Модели в термодинамике.

Внутренняя энергия рабочего тела. Изменение внутренней энергии. Работа газа, как форма передачи энергии в термодинамическом процессе. Теплота, как форма передачи энергии в термодинамическом процессе.

Энтропия. Изображение работы и теплоты в диаграммах состояния. Зависимость количества работы и теплоты от характера термодинамического процесса. Теплоёмкость газа. Виды теплоёмкости. Уравнение Майера. Показатель адиабаты. Сущность и аналитическое выражение первого закона термодинамики. Работа расширения (сжатия) газа. Техническая работа. Энтальпия.

Тема 1.2. Основные термодинамические процессы

Последовательность и объём расчета термодинамических процессов (методика исследования термодинамических процессов). Определение, осуществление и исследование основных термодинамических процессов (изохорного, изобарного, изотермического и адиабатного). Сравнение изотермы и адиабаты. Обобщающее значение политропных процессов. Решение задач по определению параметров состояния рабочего тела, работы, теплоты, изменения энтропии в термодинамических процессах.

Тема 1.3. Второй закон термодинамики. Циклы тепловых двигателей

Понятие о круговых процессах (циклах). Прямой и обратный циклы. Полезная работа и термодинамический КПД цикла. Цикл и теорема Карно. Сущность второго закона термодинамики, основные формулировки. Второй закон термодинамики и энтропия.

Особенности термодинамического метода исследования циклов тепловых двигателей. Схема устройства и принцип работы авиационного газотурбинного двигателя (ГТД). Идеальный цикл ГТД (цикл Брайтона-Стечкина). Работа и термический КПД цикла, их зависимость от степени повышения давления и степени подогрева воздуха. Расчёт и анализ идеального цикла ГТД. Определение параметров рабочего тела в характерных точках идеального цикла ГТД.

Тема 1.4. Термодинамика газового потока

Основные задачи газовой динамики. Международная стандартная атмосфера (МСА). Свойства движущегося газа: инертность, вязкость, сжимаемость. Скорость Звука. Число Маха. Дозвуковая, звуковая, сверхзвуковая скорости движения газа. Распространение малых возмущений в движущемся газе.

Основные допущения, принимаемые в газовой динамике. Уравнение неразрывности (расхода). Уравнения первого закона термодинамики для движущегося газа. Уравнение сохранения энергии. Обобщённое уравнение Бернулли. Уравнение Бернулли для жидкости и несжимаемого газа. Применение уравнений газовой динамики для расчёта элементов ГТД.

Уравнение профиля струи для энергоизолированного потока без трения. Сопловые и диффузорные каналы, основные закономерности течения газового потока в каналах переменного сечения. Параметры заторможенного потока газа (полные параметры газа). Уравнение сохранения энергии в полных параметрах. Измерение параметров потока, скорость движения газа в сопле, максимально возможная скорость газа. Критическая скорость и критические параметры газа. Газодинамические функции и их использование при расчётах газовых потоков. Формы сопловых каналов. Условия получения дозвуковых, звуковых и сверхзвуковых скоростей течений газа. Режимы работы сопла, работа дозвукового сопла на расчётном и нерасчётном режимах. Расход газа через сопло.

Тема 1.5. Основы теплопередачи.

Основные задачи теории теплообмена. Виды переноса тепла. Теплопроводность плоских стенок.

Физические основы конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона. Теплообмен излучением. Основные понятия. Защитные экраны. Теплообменные аппараты, их назначение, типы теплообменных аппаратов, применение в авиационной технике. Методы тепловой защиты элементов конструкции летательных аппаратов и их силовых установок.

Раздел 2. Теория авиационных двигателей. Организация рабочего процесса в элементах ГТД.

Тема 2.1. Принцип работы и основные параметры ГТД

Краткие исторические сведения о развитии двигателей летательных аппаратов. Общие сведения о двигателях летательных аппаратов. Классификация воздушно-реактивных двигателей, принцип их работы. Области применения ГТД.

Требования, предъявляемые к современным ГТД, используемым в гражданской авиации.

Абсолютные и удельные параметры ГТД. Тяга ВРД, анализ формулы тяги. Удельные параметры для ГТД прямой и непрямой реакции. Энергетический баланс и КПД газотурбинного двигателя.

Тема 2.2 Организация рабочего процесса во входных и выходных устройствах ГТД

Назначение входных устройств ГТД. Требования, предъявляемые к входным устройствам. Параметры, характеризующие работу входных устройств. Организация рабочего процесса в дозвуковых входных устройствах. Изменение параметров воздуха во входном устройстве при его работе на земле и в полёте. Защита авиационных двигателей ГТД от попадания в них посторонних предметов.

Выходные устройства ГТД: назначение, схемы, основные параметры, характеризующие работу выходного устройства. Виды потерь в выходных устройствах. Определение скорости истечения газов из выходного устройства. Реверс тяги. Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств.

Тема 2.3. Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД

Назначение компрессора, типы компрессоров, требования, предъявляемые к компрессорам. Теория элементарной ступени компрессора. Схема и принцип работы ступени осевого компрессора. Изменение параметров рабочего тела в ступени осевого компрессора (ОК). Схема и принцип работы ступени осевого компрессора с входным направляющим аппаратом (ВНА). Основные параметры ступени осевого компрессора. Характеристики ступени осевого компрессора. Понятие о профилировании лопаток компрессора. Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь с параметрами ступени.

Многокаскадные компрессоры. Характеристики компрессора, определение, графическое изображение, анализ. Характеристики компрессора в параметрах подобия.

Расчётные и нерасчётные режимы работы компрессора. Неустойчивая работа осевого компрессора. Виды неустойчивой работы. Линии рабочих режимов и запас устойчивости компрессора в системе ГТД. Задачи и способы регулирования осевых компрессоров. Влияние условий эксплуатации на характеристики и запас устойчивости компрессора. Схема и принцип работы центробежного компрессора.

Тема 2.4. Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД

Камеры сгорания ГТД, их назначение, требования предъявляемые к ним. Типы камер сгорания. Параметры камеры сгорания. Организация процесса горения в основных камерах сгорания.

Тема 2.5. Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД

Назначение, основные параметры, требования, предъявляемые к газовым турбинам. Типы турбин. Схема и принцип работы ступени газовой турбины. Изменение параметров газа в ступени турбины. Необходимость применения многоступенчатых турбин. Формы проточной части турбин. Коэффициенты полезного действия турбины, их анализ. Потери в турбине. Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин. Эффективность различных способов воздушного охлаждения.

Раздел 3. Теория авиационных двигателей. Рабочий процесс и характеристики ГТД.

Тема 3.1. Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД

Действительный цикл ГТД. Работа цикла ГТД. Параметры рабочего процесса. Зависимость работы цикла от параметров рабочего процесса. Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ГТД. Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ). Линия рабочих режимов. Программы и законы управления одновальным ГТД. Законы управления двухвальным газогенератором. Режимы работы ГТД. Дроссельные, высотные, скоростные характеристики ТРД.

Тема 3.2. Рабочий процесс и характеристики ТРДД

ТРДД, основные схемы и принцип работы. Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса. Распределение суммарной тяги между контурами ТРДД. Работа цикла ТРДД без смешения потоков и оптимальное распределение её между контурами. Особенности программы управления ТРДД. Особенности дроссельных, высотных, скоростных характеристик ТРДД.

Тема 3.3. Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД)

Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей. Эксплуатационные характеристики ТВаД. Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта (НВ) вертолета.

Тема 3.4. Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД)

Схема, принцип работы ТВД. Типы ТВД. Основные параметры ТВД. КПД ТВД. Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией истекающей струи. Особенности управления и совместной работы элементов ТВД. Дроссельные, высотные, скоростные характеристики ТВД.

Тема 3.5. Неустановившиеся режимы работы ГТД

Требования к динамическим характеристикам ГТД. Уравнение динамики роторов ГТД на переходных режимах. Запуск ГТД в стартовых условиях и в полете. Изменение параметров рабочего процесса при разгоне и сбросе газа.

Тема 3.6. Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД

Влияние давления, температуры и влажности наружного воздуха на характеристики авиационных ГТД. Влияние эрозийного износа и загрязнения элементов проточной части ГТД в условиях эксплуатации на пыльных аэродромах. Эксплуатационные ограничения и их влияние на работу силовых установок. Приведение данных испытания ГТД к стандартным атмосферным условиям. Влияние авиационных двигателей на окружающую среду

5.4 Практические занятия

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
1.1.	Практическое занятие № 1. Решение задач по определению параметров рабочего тела.	2
1.2.	Практическое занятие № 2. Изображение термодинамических процессов в «p-V» и «T-S» координатах. Решение задач по определению параметров рабочего тела, работы, теплоты, изменения энтропии в термодинамических процессах.	2
1.3.	Практическое занятие № 3,4. Анализ цикла и теории Карно. Расчет и анализ идеального цикла ГТД.	4
1.4.	Практическое занятие № 5,6. Применение уравнений газовой динамики для расчета элементов ГТД.	4
1.4.	Практическое занятие № 7,8,9. Решение задач по осуществлению параметров движущегося газа. Письменная контрольная работа.	6
1.5.	Практическое занятие № 10,11,12. Изучение теоретического материала, решение задач по теме:	6

	«Теплообменные адиабаты». Методы тепловой защиты элементов конструкции летательного аппарата и их силовых установок.	
2.1.	Практическое занятие № 13. Решение задач по определению тяги и удельных параметров ГТД. Выполнение ИДЗ по теме.	2
2.2.	Практическое занятие № 14. Выполнение ИДЗ по теме.	2
Итого за 1 семестр		28
2.3	Практическое занятие № 15. Расчетно-графическая работа «Расчет запаса устойчивости осевого компрессора».	2
2.4.	Практическое занятие № 16. Изучение основных закономерностей процесса горения в основных камерах сгорания.	2
2.5.	Практическое занятие № 17. Необходимость применения многоступенчатых турбин. Коэффициенты полезного действия турбин, их анализ.	2
3.1.	Практическое занятие № 18. Построение на характеристиках компрессора линий рабочих режимов.	2
3.2.	Практическое занятие № 18. Особенности характеристик ТРДД, расчеты параметров ТРД на базе ТРД.	2
3.3.	Практическое занятие № 19. Особенности характеристик турбовальных двигателей (ТВаД). Решение задач по определению параметров ТВаД.	2
3.4.	Практическое занятие № 20. Особенности характеристик турбовинтовых двигателей (ТВД). Решение задач по определению параметров ТВД.	2
Итого за 2 семестр		14
Итого по дисциплине		42

5.5 Лабораторный практикум

Лабораторный практикум учебным планом не предусмотрен.

5.6 Самостоятельная работа

Номер темы дисципли-ны	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
1.1.	1.Изучение теоретического материала по теме: Основные понятия термодинамики. Первый закон термодинамики. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	2
1.2.	1.Изучение теоретического материала по теме: Основные термодинамические процессы. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	2
1.3.	1.Изучение теоретического материала по теме: Второй закон термодинамики. Циклы тепловых двигателей. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	2
1.4.	1.Изучение теоретического материала по теме: Термодинамика газового потока. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	6
1.5.	1.Изучение теоретического материала по теме: Основы теплопередачи. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	6

Номер темы дисципли-ны	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
2.1.	1.Изучение теоретического материала по теме: Принцип работы и основные параметры ГТД. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	6
2.2.	1.Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса во входных и выходных устройствах ГТД. 2.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач.	6
Итого за 1 семестр		30
2.3.	1.Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в компрессорах ГТД. 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. 4.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 5.Работа над КУП.	8
2.4.	1.Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в камерах сгорания ГТД. 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. 4.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 5.Работа над КУП.	2
2.5.	1.Изучение теоретического материала по теме: Организация рабочего процесса в газовых турбинах ГТД. 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Выполнение индивидуального домашнего задания [1-13]. 4.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 5.Работа над КУП.	2

Номер темы дисципли-ны	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
3.1.	1.Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики одновальных ГТД [1-13] 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4. Работа над КУП.	10
3.2.	1.Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики ТРДД[1-13] 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4.Работа над КУП.	8
3.3.	1.Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики турбовальных ГТД (ТВаД) [1-13] 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4.Работа над КУП.	8
3.4.	1.Изучение теоретического материала по теме: Рабочий процесс и характеристики турбовинтовых двигателей (ТВД) [1-13] 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4.Работа над КУП.	8
3.5.	1.Изучение теоретического материала по теме: Неустановившиеся режимы работы ГТД [1-13] 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4.Работа над КУП.	4

Номер темы дисципли-ны	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
3.6.	1.Изучение теоретического материала по теме: Влияние условий эксплуатации на основные параметры и характеристики ГТД [1-13] 2.Подготовка к текущему опросу. 3.Подготовка к решению расчётных и ситуационных задач. 4.Подготовка к выполнению контрольной работы.	4
Итого за 2 семестр		54
Итого по дисциплине:		84

5.7 Курсовые работы (проект)

При изучении дисциплины «Термодинамика и теория авиационных двигателей» выполняется курсовой проект «Термодинамический расчет авиационных ГТД»

Наименование этапа выполнения курсового проекта	Трудоемкость (часы)
Этап 1. Выдача задания на курсовой проект.	2
Этап 2. Выполнение раздела «Расчет основных параметров ГТД».	СРС
Этап 3. Выполнение графической части проекта.	
Этап 4. Оформление курсового проекта	
Защита курсового проекта	2
Итого контактная работа по курсовому проекту:	4

6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1 Никифоров, А.И. Термодинамика и теплопередача: учебное пособие. Часть I. Техническая термодинамика:/А.И. Никифоров - СПбГУГА, 2011. - 209 с. Кол-во экземпляров: 464, ISBN- отсутствует.

2 Никифоров, А.И. Термодинамика и теплопередача: учебное пособие. Часть II. Основы газовой динамики/А.И. Никифоров– СПбГУГА, 2012. – 157 с. Кол-во экземпляров: 464, ISBN- отсутствует.

3 Никифоров, А.И. **Теория авиационных двигателей. Методические указания по выполнению курсового проекта по термодинамическому расчету авиационного ГТД** [Текст]: учеб. метод, пособие для студентов ФАИТОП и ЗФ СПбГУГА/ А.И. Никифоров – СПбГУГА, 2011 – 141 с. Количество экземпляров: 480, ISBN- отсутствует.

б) дополнительная литература:

4 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002. Введен 2003-09-01. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 28 с., Количество экземпляров: 1, http://docs.cntd.ru/document/1200031406, ГОСТ в электронном виде, свободный доступ (дата обращения 20.01.2025).

5 Казанджан, П.К. **Теория авиационных двигателей. Рабочий процесс и эксплуатационные характеристики газотурбинных двигателей** [Текст]: учеб. для вузов/П.К. Казаджан, В.Т. Тихонов, Н.Д Шулекин. - М.: Транспорт, 2000. – 287с. – ISBN - 5-277-02174-4, Количество экземпляров: 15, https://is.gd/tfpUBf, учебник в электронном виде, свободный доступ (дата обращения 20.01.2025).

6 Казанджан, П.К. **Теория авиационных двигателей. Теория лопаточных машин** [Текст]: учеб. для вузов/П.К. Казаджан, Н.Д. Тихонов. – М.: Машиностроение, 1995. – 317 с. – ISBN - 5-7883-0132-7, Количество экземпляров: 48

7 Двигатели газотурбинные авиационные. Термины и определения [Текст]: ГОСТ 23851-79.- Введ. 1980. – 07-01. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 101с. Количество экземпляров: 5, http://internet-law.ru/gosts/gost/40186/, ГОСТ в электронном виде, свободный доступ (дата обращения 20.01.2025).

в). программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

8 **Система поиска в сети Интернет** − Режим доступа: http://www.google.com, свободный (дата обращения 20.01.2025).

9 **Электронная библиотека** − Режим доступа: http://www.wikipedia.org, свободный (дата обращения 20.01.2025).

10 **Онлайн переводчик** − Режим доступа: http://www.lingvo.ru, свободный, (дата обращения 20.01.2025).

г). программное обеспечение (лицензионное и свободно распространяемое), базы данных, информационно-справочное и поисковые системы:

11 **КонсультантПлюс. Официальный сайт компании** [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://consultant.ru, свободный (дата обращения 20.01.2025).

12 **Электронная библиотека научных публикаций «eLIBRARY.RU»** [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://elibrary.ru, свободный

13 **Электронно-библиотечная система издательства «Лань»** [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://e.lanbook.com, свободный.

7 Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
Термодинамика и теория авиационных двигателей	Аудитория 360	Комплект учебной мебели - 30 шт. Экран ProjectaProStar 183*240см MatteWhiteSнаштативе Доска двойная Проектор AcerX1261 P (1024x768, 3700:1,+/-40 28Db Lamp:4000HRS Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный)	Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390) Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) Opera (freeware) Google Chrome (freeware) DAEMON Tools Lite (freeware) WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation) Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года) Драйвера и их компоненты. Adobe Acrobat Reader DC (freeware) Adobe Flash Player (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390) K-Lite Mega Codec Pack (freeware) Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года)
	Аудитория 362	Комплект учебной мебели - 30 шт. Экран ProjectaProStar 183*240см MatteWhiteSнаштативе Доска двойная Проектор AcerX1261 P (1024x768, 3700:1,+/-40 28Db Lamp:4000HRS Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный)	
	Аудитория 364	Комплект учебной мебели – 20 шт. Доска двойная Ноутбук HP 15-rb070ru 15.6 AMD (черный)	
	МИС (Моторно-испытательная станция) Учебно-производственные мастерские	Проектор BENQ - 2 шт. Принтер HPHEWLETTPACKARD 11311 Сканер Epson Доска - 3 шт. Экран Dinon - 2 шт. Стол для преподавателя - 2 шт. Парты со скамьей - 47 шт. Стулья - 4 шт. Ноутбук HP 15-rb070ru	

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятель-ной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
		15.6 AMD (черный)	Mozilla Firefox (MPL/GPL/LGPL) Ultra-Defrag 7.0.2 (GNU GPL 2) Unchecky (freeware) DAEMON Tools Lite (freeware) Opera (freeware) WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation) Windows 7 (лицензия № 46231032 от 4 декабря 2009 года) Adobe Acrobat Reader XI (freeware) Adobe Flash Player (freeware) Kaspersky Endpoint Security 10 (лицензия № 0AFE-180731-132011-783-1390) K-Lite Mega Codec Pack (freeware) Microsoft Office Профессиональный плюс 2007 (лицензия № 43471843 от 07 февраля 2008 года) ABBYY FineReader 10 CorporateEditional (лицензия № AF10 3S1V00 102 от 23 декабря 2010 года) WinRAR 3.9 (лицензия на Spb State University of Civil Aviation) Windows XP (лицензия №

Наименование дисциплины	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятель-ной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
			43471843 от 07 февраля 2008 года)

8 Образовательные и информационные технологии

В рамках изучения дисциплины используются следующие образовательные технологии: лекции, практические занятия, курсовой проект, самостоятельная работа.

Лекция составляет основу теоретического обучения в рамках дисциплины и направлена на систематизированное изложение накопленных и актуальных научных знаний. Лекция имеет целью раскрыть текущее состояние и обозначить перспективы прогресса в области изучаемой дисциплины. На лекции концентрируется внимание обучающихся на наиболее сложных и узловых вопросах, стимулируется их активная познавательная деятельность.

Ведущим методом в лекции выступает устное изложение учебного материала, который сопровождается одновременной демонстрацией слайдов, при необходимости привлекаются открытые Интернет-ресурсы, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные материалы и практические примеры. Цель практических занятий – закрепить теоретические знания, полученные обучающимися на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих тем, а также приобрести практические навыки. Проводимые в рамках практического занятия: текущие опросы и контрольная работ, расчетные и ситуационные задачи, темы курсового проекта имеют профессиональную направленность.

Также в качестве элемента практической подготовки применяется разбор конкретной ситуации, используемый на практических занятиях и заключающийся в постановке перед студентами расчётных и ситуационных задач с целью достижения планируемых результатов в части умения анализировать процессы, протекающие в механизмах, агрегатах, системах и конструктивных элементах авиационных двигателей

Курсовой проект по дисциплине представляет собой самостоятельную работу студента и ставит цель систематизировать, закрепить и углубить теоретические и практические знания, умения и навыки по специализации с целью их применения для решения профессиональных задач.

Практические занятия и курсовой проект по дисциплине являются составляющими практической подготовки обучающихся, так как предусматривают их участие в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Самостоятельная работа обучающихся является составной частью учебной работы. Ее основной целью является формирование навыка самостоятельного приобретения знаний по некоторым вопросам теоретического курса, закрепление и углубление полученных знаний, самостоятельная работа со справочниками, периодическими изданиями и научно-популярной литературой. Самостоятельная работа включает подготовку к текущему опросу, подготовка к контрольной работе и решению ситуационных и расчетных задач, а также написание курсового проекта.

9 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Фонд оценочных средств по дисциплине «Термодинамика и теория авиационных двигателей» предназначен для выявления и оценки уровня и качества знаний студентов по результатам текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в форме экзамена в 1 семестре и зачета с оценкой во 2 семестре.

Фонд оценочных средств для текущего контроля включает вопросы для текущих опросов, темы для индивидуальных домашних заданий, перечень ситуационных и расчетных задач, а также тему курсового проекта и его защиту.

Текущий опрос проводится на практических занятиях с целью контроля усвоения теоретического материала.

Тема индивидуальных домашних заданий выдается на практических занятиях с целью контроля усвоения теоретического материала, излагаемого на лекции. Контроль выполнения индивидуальных домашних заданий помогает применить индивидуальный подход к проверке знаний, оценить уровень подготовленности.

Расчетные задачи, ситуационные задачи и темы курсового проекта носят практико-ориентированный характер, используются в рамках практической подготовки с целью оценки формирования, закрепления, развития практических навыков.

Контрольная работа выполняется обучающимися на практическом занятии, на основании задания, выдаваемого преподавателем по соответствующей теме дисциплины, и представляет собой оценку полученных теоретических и практических знаний.

Защита курсового проекта – конечный продукт, который позволяет оценить умения и навыки обучающегося, самостоятельное применение знаний и ориентирования в информационном пространстве, а также уровень сформированности навыков практического и творческого мышления.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде экзамена в 1 семестре и зачета с оценкой во 2 семестре. К моменту сдачи зачета с оценкой и экзамена должны быть успешно пройдены предыдущие формы контроля. Зачет с оценкой и экзамен позволют оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

9.1 Балльно-рейтинговая оценка текущего контроля успеваемости и знаний студентов по дисциплине

Балльно-рейтинговая система текущего контроля успеваемости и знаний студентов не применяется.

9.2 Методические рекомендации по проведению процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Текущий опрос оценивается следующим образом: развернутый ответ обучающегося должен представлять собой связный, логически последовательный ответ на вопрос. Критерии оценивания:
1) полнота и правильность ответа;
2) степень осознанности, понимания изученного;
3) языковое оформление ответа.

Оценка «отлично» ставится, если обучающийся полно излагает материал (отвечает на вопрос), дает правильное определение основных понятий; обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры не только из учебника, но и самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно с точки зрения норм литературного языка.

Оценка «хорошо» ставится, если обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для оценки «отлично», но допускает 1–2 ошибки, которые сам же исправляет, и 1–2 недочета в последовательности и языковом оформлении излагаемого.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает знание и понимание основных положений данной темы, но излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий или формулировке; не умеет достаточно глубоко и доказательно обосновать свои суждения и привести свои примеры; излагает материал непоследовательно и допускает ошибки в языковом оформлении излагаемого.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если обучающийся обнаруживает незнание большей части соответствующего вопроса, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажает их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал.

Индивидуальное домашнее задание:

Оценка «отлично» выставляется, если обучающийся выполнил работу без ошибок и недочетов, продемонстрировал: глубокое и прочное усвоение программного материала; грамотно и логически правильно изложил ответ по указанной теме домашнего задания; привел необходимые примеры не только из учебных материалов, но и самостоятельно составленные.

Оценка «хорошо», если обучающийся выполнил работу полностью, но допустил в ней не более одной негрубой ошибки, усвоил программный материал; изложил полный, грамотный ответ по указанной теме домашнего

задания; привел необходимые примеры; изложил материал последовательно и правильно.

Оценка «удовлетворительно», если обучающийся правильно выполнил не менее половины работы или допустил не более двух грубых ошибок, усвоил программный материал; но его ответ не полный, приводит примеры; изложил материал непоследовательно.

Оценка «неудовлетворительно», если обучающийся допустил большое число ошибок и недочетов, или, если правильно выполнил менее половины работы, не привел примеров, допустил ошибки в формулировке основных понятий, беспорядочно и непоследовательно изложил материал.

Расчетные и ситуационные задачи:

«зачтено»: задание выполнено полностью, в соответствии с поставленными требованиями и сделаны необходимые выводы;

«не зачтено»: в том случае, если обучающийся не выполнил задания, или результат выполнения задания не соответствует поставленным требованиям, а в заданиях и (или) ответах имеются существенные ошибки.

На момент экзамена студент должен получить «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» за участие в по крайней мере в 50 % устных опросов, «отлично», «хорошо» или «удовлетворительно» за выполнение тестов, «зачтено» за выполнение расчётных и ситуационных задач по всем темам, для которых они предусмотрены.

Контрольная работа:

Оценка «отлично» ставится, когда обучающийся выполнил без ошибок все задания в контрольной работе

Оценка «хорошо» ставится, когда обучающийся выполнил все задания, но допустил незначительные ошибки.

Оценка «удовлетворительно» ставиться, когда обучающийся допустил несколько грубых ошибок.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, когда обучающийся не справился с заданиями, допустил множество грубых ошибок.

9.3 Тема курсовой работы по дисциплине

При изучении дисциплины «Теория авиационных двигателей» выполняется курсовой проект «Термодинамический расчет авиационных ГТД».

Исходные данные для выполнения курсового проекта определяются исходя из номера зачетной книжки студента или порядкового номера студента в группе по правилам, изложенным в методических указаниях по выполнению курсового проекта.

9.4 Контрольные вопросы для проведения входного контроля остаточных знаний по обеспечивающим дисциплинам

Входной контроль не предусмотрен.

9.5 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
I этап		
УК-1; **ОПК-1**	$ИД^{1}_{ОПК1}$ $ИД^{2}_{ОПК1}$ $ИД^{3}_{ОПК1}$ $ИД^{4}_{ОПК1}$ $ИД^{1}_{УК1}$ $ИД^{2}_{УК1}$	Знает: – Основные законы математических и естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении практических задач по расчёту параметров термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях на основе знаний термодинамики и теплопередачи – Основные законы термодинамики и газовой динамики, методы тепловой защиты элементов авиационной техники, при осуществлении профессиональной деятельности эксплуатационно – технологического типа в области организации технического обслуживания воздушных судов и авиационных двигателей Умеет: – Применять законы термодинамики и основные уравнения газовой динамике для решения практических задач по анализу течения газовых потоков, протекающих в ГТД, конструкции и системах ВС в обеспечении исправности и работоспособности авиационной техники; определить параметры рабочего тела во всех элементах авиационного двигателя на базе знаний, полученных по дисциплине термодинамика и теплопередача, в том числе и с использованием программных средств.

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
		– Методами и приёмами использования основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач на основе знаний термодинамики и теплопередачи; – навыками уверенности в выборе форм и методов решения задач в ходе профессиональной деятельности, умения анализировать полученные результаты; методами проведения экспериментов, навыками обобщения полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным оборудованием, измерительными приборами и вычислительной техники.
II этап		
УК-1; **ОПК-1**	$ИД^{1}_{ОПК1}$ $ИД^{2}_{ОПК1}$ $ИД^{3}_{ОПК1}$ $ИД^{4}_{ОПК1}$ $ИД^{1}_{УК1}$ $ИД^{2}_{УК1}$	Умеет: – Формулировать профессиональные задачи и находить пути их решения из базы знаний, полученных на дисциплине термодинамика и теплопередача; применять законы термодинамики и основы уравнений газовой динамике в формулировке профессиональных задач и нахождения путей их решения в обеспечении исправности и работоспособности авиационной техники при осуществлении профессиональной деятельности эксплуатационно – технологического типа в области организации технического обслуживания воздушных судов и авиационных двигателей.

Компетенции	Показатели оценивания (индикаторы достижения) компетенций	Критерии оценивания
		Владеет: – Навыками формулировки профессиональных задач и нахождения путей их решений, полученных по дисциплине термодинамика и теплопередача; -методами оценивания термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях, конструкциях и в системах воздушных судов – Навыками расчета параметров термодинамических процессов, протекающих в авиационных двигателях с целью подготовки к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию ответственных решений в рамках своей профессиональной компетенции. – Методикой организации и осуществления поиска и устранения неисправностей авиационной техники с учетом знаний термодинамики и теплопередачи при осуществлении профессиональной деятельности эксплуатационно – технологического типа в области организации технического обслуживания воздушных судов и авиационных двигателей.

9.5.1 Описание шкал оценивания

Шкала оценивания курсовой работы приведена в таблице:

Шкала оценивания	Составляющие	Признаки
Отлично	Расчётная часть	Все расчёты выполнены правильно
	Графическая часть	Обучающийся показывает отличные навыки выполнения чертежей. Чертежи практически полностью соответствуют требованиям ГОСТ.
	Выводы	Выводы грамотно сформулированы и

Шкала оценивания	Составляющие	Признаки
		обоснованы.
	Оформление	Курсовой проект оформлен аккуратно согласно требованиям к оформлению без орфографических и грамматических ошибок.
	Своевременность выполнения	Курсовой проект выполнен и сдан на проверку своевременно.
	Защита	Обучающийся доступно и ясно представляет результаты курсового проекта. Ответы на вопросы полные, глубокие. Обучающийся всесторонне оценивает и интерпретирует полученные результаты, доказывает их значимость. Грамотно и аргументировано представляет выводы.
Хорошо	Расчётная часть	Расчёты хотя и выполнены в целом правильно, имеют определённые недочёты в оформлении.
	Графическая часть	Обучающийся показывает хорошие навыки выполнения чертежей. Чертежи, хотя и имеют незначительные ошибки, в остальном соответствуют требованиям ГОСТ.
	Выводы	Выводы сформулированы с небольшими неточностями.
	Оформление	Курсовой проект оформлен аккуратно согласно требованиям к оформлению с небольшим количеством орфографических или грамматических ошибок.
	Своевременность выполнения	Курсовой проект выполнен и сдан на проверку своевременно.
	Защита	Доступно и ясно представляет результаты курсового проекта. Ответы на вопросы полные. Обучающийся оценивает и интерпретирует полученную информацию с незначительными неточностями, Демонстрирует самостоятельное мышление.
Удовлетвори	Расчётная часть	Расчёты, хотя и имеют определённые

Шкала оценивания	Составляющие	Признаки
тельно		погрешности, позволили сделать, в целом, правильные выводы.
	Графическая часть	Обучающийся показывает слабые навыки выполнения чертежей. Чертежи лишь частично соответствуют требованиям ГОСТ.
	Выводы	Не все выводы сформулированы, либо не точно сформулированы.
	Оформление	Курсовой проект оформлен неаккуратно, содержит орфографические и грамматические ошибки.
	Своевременность выполнения курсового проекта	Курсовой проект выполнен и сдан на проверку позже указанного срока.
	Защита	Обучающийся с трудом докладывает результаты курсового проекта. Ответы на вопросы неполные. Обучающийся может оценить полученные результаты и интерпретирует их со значительными неточностями.
Неудовлетворительно	Расчётная часть	Расчёты неверны или отсутствуют.
	Графическая часть	Обучающийся показывает крайне слабые навыки выполнения, чертежей, Чертежи не соответствуют ГОСТ.
	Выводы	Выводы не сформулированы.
	Оформление	Оформление курсового проекта не соответствует требованиям. Большое количество орфографических и грамматических ошибок.
	Защита	Обучающийся не может представить результаты курсового проекта. Не отвечает на вопросы или отвечает неверно.

Шкала оценивания при проведении промежуточной аттестации

«Отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания по рассматриваемой компетенции и умение уверенно применять их на практике, свободное и правильное обоснование принятых решений. Отвечая на вопрос, может быстро и

безошибочно проиллюстрировать ответ собственными примерами. Обучающийся самостоятельно правильно выполняет практические задания, дает обоснованную оценку итогам суждений.

«Хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в выполнении практического задания некоторые неточности, хорошо владеет всем содержанием, видит взаимосвязи. Обучающийся решает практические задания верно.

«Удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными знаниями в рамках заданной компетенции, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации. Практические задания выполнено не полностью, или содержатся незначительные ошибки в суждении.

«Неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины в рамках компетенций, допускает принципиальные ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и при выполнении практических заданий.

9.6 Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам обучения по дисциплине

1 семестр

9.6.1 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.1.

В-1

1 Назовите составные части термодинамической системы, которые обеспечивают преобразование тепловой энергии в механическую.

2 Напишите уравнение состояния для 1 кг идеального газа.

В-2

1 Изобразите закрытую термодинамическую систему.

2 Напишите уравнение состояния для произвольной массы идеального газа.

В-3

1 Изобразите открытую термодинамическую систему.

2 Дайте определение идеальному газу.

В-4

1 Какая термодинамическая система называется изолированной?

2 Назовите основные параметры рабочего тела, напишите их обозначение, единицы измерения.

В-5

1 Назовите параметр, который будет одинаковым во всех точках системы в состоянии термодинамического равновесия.

2 Напишите формулу для определения газовой постоянной R по известной величине универсальной газовой постоянной R_μ.

В-6

1 Что называется термодинамическим процессом?

2 Определите величину газовой постоянной воздуха, если известно, что универсальная газовая постоянная R_μ = 8314,41 Дж/(кмоль·К) и молекулярная масса воздуха $\mu_{возд}$ = 28,966 кг/кмоль.

В-7

1 Какой термодинамический процесс считается обратимым?

2 Нарисуйте схему измерения давления в резервуаре, в котором давление больше атмосферного.

В-8

1 Нарисуйте схему измерения давления в резервуаре, в котором давление меньше атмосферного.

2 Изобразите термодинамический процесс, в котором происходит уменьшение давления. Как изменяются другие параметры рабочего тела?

В-9

1 Каким условиям должна удовлетворять модель обратимого термодинамического процесса?

2 Как связаны между собой удельный объем и плотность газа?

В-10

1 Как изменяется давление идеального газа при увеличении абсолютной температуры в 2 раза? Концентрация молекул газа при этом не изменяется.

2 Что называется диссипацией (рассеиванием) энергии?

9.6.2 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.2.

В-1

1 Как осуществить изохорный процесс.

2 Напишите уравнения адиабатного и политропного процессов.

3 Напишите уравнение первого закона термодинамики для изотермического процесса.

В-2.

1 Приведите примеры политропных процессов.

2 Напишите соотношения между параметрами в изотермическом процессе.

3 Напишите уравнение первого закона термодинамики для адиабатного процесса.

В-3.

1 Приведите примеры процессов близких к изобарным, протекающих в авиационной технике.

2 Напишите соотношения между давлением и удельным объёмом в адиабатном и политропном процессах.

3 В каком термодинамическом процессе удельная теплоёмкость равна нулю?

В-4.

1 Для какого процесса справедливо равенство: $L = -\Delta U$ $L = -\Delta U$?
2 Напишите соотношения между давлением и температурой в адиабатном и политропном процессах.
3 Напишите уравнение первого закона термодинамики для изохорного процесса.

В-5.

1 Возможно ли протекание адиабатных процессов в авиационной технике? Если да, то где?
2 Напишите соотношение между параметрами в изохорном процессе.
3 В каком термодинамическом процессе справедливо равенство $Q = L$ $Q = L$?

В-6.

1 Приведите примеры процессов близких к изохорным, протекающих в авиационной технике.
2 Напишите соотношения между удельным объёмом и температурой в адиабатном и политропном процессах.
3 В каком термодинамическом процессе удельная теплоёмкость равна $\pm\infty$ $\pm\infty$?

9.6.3 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.3.

В-1

1 Назовите основные задачи термодинамического исследования циклов тепловых двигателей.
2 Назовите термодинамические процессы, которые протекают по линии Н-В-К цикла ГТД. В каких элементах ГТД эти процессы протекают?
3 Напишите формулу для определения степени подогрева воздуха.

В-2

1 Назовите основные допущения для перехода от реальных циклов к идеальным.
2 Назовите термодинамические процессы, которые протекают по линии К-Г цикла ГТД. В каких элементах ГТД эти процессы протекают?
3 Напишите формулу для определения степени повышения давления воздуха в ГТД.

В-3

1 Что нужно знать для термодинамического исследования идеального цикла теплового двигателя?
2 Назовите термодинамические процессы, которые протекают по линии Г-Т-С цикла ГТД. В каких элементах ГТД эти процессы протекают?
3 Напишите формулу для определения теплоты отведённой от рабочего тела в идеальном цикле ГТД.

В-4

1 Назовите простые и наглядные методы сравнения циклов ГТД.
2 Назовите термодинамические процессы, которые протекают по линии С-Н цикла ГТД. В каких элементах ГТД эти процессы протекают?

3 Напишите формулу для определения теплоты, подведённой в камере сгорания в идеальном цикле ГТД.

В-5

1 Назовите основные параметры, определяющие работу и термический КПД цикла ГТД.

2 Из каких термодинамических процессов состоит идеальный цикл ГТД?

3 Напишите формулу для определения давления воздуха за компрессором ГТД.

9.6.4 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.4.

В-1

1 Назовите формы каналов, которые предназначены для разгона и торможения газового потока?

2 Напишите уравнение сохранения энергии в параметрах заторможенного потока.

В-2

1 Напишите уравнение профиля струи для энергоизолированного потока. С помощью этого уравнения определите форму канала, предназначенного для разгона дозвукового потока.

2 Почему при увеличении скорости газа уменьшается скорость распространения звука в нём?

В-3

1 Напишите формулы для определения параметров заторможенного потока.

2 При каких условиях возможно достижение максимальной скорости истечения газа?

В-4

1 Дайте определение полным параметрам или параметрам заторможенного потока.

2 Напишите формулу для определения скорости потока на выходе из сопла. Какие факторы влияют на величину скорости?

В-5

1 Критические параметры газового потока. Критическая скорость.

2 Назовите условия получения сверхзвукового потока.

В-6

1 Напишите уравнение профиля струи для энергоизолированного потока. С помощью этого уравнения определите форму канала, предназначенного для торможения звукового потока.

2 Напишите формулы основных газодинамических функций, которые используются при расчётах газовых потоков.

9.6.5 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.5.

В-1

1 Какие задачи решаются в теории теплообмена?
2 Почему в уравнении закона Фурье поставлен знак минус?

В-2

1 Назовите основные виды переноса теплоты.
2 Что характеризует коэффициент теплопроводности λ?

В-3

1 Что характеризует градиент температуры?
2 Напишите формулу для определения плотности теплового потока в плоской стенке.

В-4

1 Дайте определение тепловому потоку, плотности теплового потока.
2 Напишите дифференциальные уравнения теплопроводности для трёхмерного поля.

В-5

1 Закон Фурье. Что определяет этот закон?
2 Дайте определение температурному полю.

В-6

1 Назовите факторы, определяющие величину плотности теплового потока в плоской стенке.
2 Напишите формулу для определения величины теплового потока по рассматриваемой поверхности F.

В-7

1 Назовите определяющий фактор, что данный материал может применяться в качестве тепловой изоляции.
2 Какой характер имеет температурная линия при теплопроводности в плоской стенке?

9.6.6 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.1.

В-1

1 Нарисуйте схему классификации ВРД.
2 Определить тягу ГТД при его работе на земле, если расход воздуха через двигатель составляет 150 кг/с, а скорость истечения газа через сопло 1200 м/с.

В-2

1 Опишите газотурбинные ВРД (ГТД).
2 Определить часовой расход топлива двигателя развивающего на крейсерском режиме тягу 140 кН при удельном расходе топлива равном 0,04 кг/(Н·ч).

В-3

1 Опишите турбореактивные одноконтурные двигатели (ТРД и ТРДФ).
2 Определить полный КПД ГТД при работе двигателя на земле, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1400 м/с, внутренний КПД равен 0,3.

В-4

1 Опишите турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД и ТРДДФ).

2 Какие удельные параметры характеризуют качество конструкции двигателя?

В-5

1 Опишите турбовальные и турбовинтовые двигатели (ТВаД и ТВД).

2 Определение внутреннего КПД ГТД. Что характеризует внутренний КПД ГТД?

В-6

1 Какие требования предъявляются к современным ГТД, используемым в ГА.

2 Определение тягового КПД ГТД, что характеризует тяговый КПД ГТД?

9.6.7 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.2.

В-1

1 Определите назначение входных устройств ГТД.

2 Дайте определение и напишите формулу степени повышения давления воздуха во входном устройстве. Что оценивает этот параметр?

В-2

1 Какие требования предъявляются к входным устройствам ГТД.

2 Дайте определение и напишите формулу коэффициента восстановления полного давления. Что оценивает этот параметр?

В-3

1 Назовите основные особенности организации рабочего процесса сверхзвуковых входных устройств (СВУ).

2 Дайте определение и напишите формулу коэффициента внешнего сопротивления. Что оценивает этот параметр?

В-4

1 Дайте определение входному устройству ГТД.

2 Дайте определение и напишите формулу коэффициента внешнего сопротивления. Что оценивает этот параметр?

В-5

1 Назовите основные направления защиты авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.

2 Нарисуйте характер изменения параметров поток в дозвуковом входном устройстве при $V = C_{вх.}$

В-6

1 Назовите основные причины неустойчивых режимов работы сверхзвуковых входных устройств (СВУ).

2 Нарисуйте характер изменения параметров потока в дозвуковом входном устройстве при $V < C_{вх.}$

В-7

1 Дайте определение газовой турбины согласно ГОСТу 23581-79.

2 Определение свободной турбины.

3 Определить мощность, развиваемую газовой турбиной при полёте летательного аппарата со скоростью $M_н = 1$ на высоте 5 км, если расход воздуха

через двигатель составляет 170 кг/с, а работа полученная на валу турбины - $15 \cdot 10^4$ кДж/кг.

В-8

1 Нарисуйте схему ступени газовой турбины и покажите, как изменяются параметры потока в элементах ступени.

2 Определение турбины вентилятора.

3 Определить степень реактивности турбины, если адиабатная работа расширения в рабочем колесе равна 360 кДж/кг, а адиабатная работа расширения во всей ступени 900 кДж/кг. Объяснить смысл полученного результата.

В-9

1 Обоснуйте необходимость применения многоступенчатых турбин.

2 Определение турбины высокого давления.

3 Вычислить значение работы турбины, если температура в полных параметрах в ней уменьшается от 1350 К до 600 К. Принять для газа: $\kappa_{г=}$1,33; $R_г$=288 Дж/(кг·К); $C_{pг}$=1160,7 Дж/(кг·К).

В-10

1 Назначение соплового аппарата и рабочего колеса газовой турбины.

2 Определение дозвуковой ступени турбины.

3 Определить КПД турбины, если работа, полученная на валу турбины равна 360 кДж/кг, и адиабатная работа турбины, определенная по параметрам заторможенного потока газа, 450 кДж/кг. Удовлетворяет ли данная газовая турбина по значению КПД требованиям, предъявляемым к газовым турбинам?

2 семестр

9.6.8 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.3.

В-1

1 Приведите определение компрессора согласно ГОСТа 23851-79.

2 Определить давление воздуха за ступенью компрессора, если давление воздуха на входе в ступень 101325 Па, а степень повышения давления воздуха в ступени 1.3.

В-2

1 Назовите основные типы компрессоров. Каковы преимущества и недостатки отдельных типов?

2 Определить степень повышения ступени компрессора, если давление в ступени повысилось от $1 \cdot 10^5$ Па до $1{,}25 \cdot 10^5$ Па.

В-3

1 Нарисуйте схему ступени компрессора и покажите, как изменяются параметры потока в элементах ступени.

2 Степень повышения давление в ступени ОК равна 1,2. Определить какое было давление на входе в ступень, если давление на выходе из ступени стало $1{,}68 \cdot 10^5$ Па.

В-4

1 Приведите определение ступени компрессора согласно ГОСТа 23851-79.
2 Определить величину работы, которую необходимо подвести к валу вращения рабочего колеса ступени компрессора, чтобы получить окружную скорость равную 250 м/с и закрутку потока равную 182 м/с.

В-5

1 Обоснуйте необходимость применения входных направляющих аппаратов перед первой ступенью осевого компрессора.
2 Определить адиабатный КПД ступени компрессора, если известно, что адиабатный подогрев воздуха в ступени $\Delta T_{ад.\ ст}$ = 20 К, а действительный подогрев воздуха в ступени $\Delta T_{ст}$ = 23,5 К. По результатам вычислений сделать вывод: соответствует ли данная ступень по значению адиабатного КПД требованиям предъявляемым современным компрессорам.

9.6.9 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.4.

В-1

1Обоснуйте необходимость изменения многоступенчатых осевых компрессоров. Напишите формулы для определения степени повышения давления воздуха в компрессоре.
2 Определить мощность, потребляемую компрессором, при эффективной работе компрессора 30000 Дж/кг, если расход воздуха составляют 100 кг/с. Проанализировать, как будет меняться величина мощности при изменении расхода и работы.

В-2

1 Назовите основные параметры многоступенчатого компрессора, напишите формулы для их определения.
2 Определить работу на валу компрессора, если известны $t_в^*$=15 ^{0}C, а степень повышения давления воздуха $\pi_к^*$ = 18.

В-3

1 Изобразите процесс сжатия воздуха в компрессоре в «p-v» и «T-s» координатах.
2 Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если давление воздуха на входе в компрессор - $1\cdot10^5$ Па, а на выходе $25\cdot10^5$ Па. Объяснить физический смысл полученного результата.

В-4

1 Дайте определение характеристикам компрессора. Приведите графическое изображение характеристик.
2 Определить степень повышения давления в шестиступенчатом компрессоре, если $\pi_{ст}$=1,2; $\pi_{ст2}$=$\pi_{ст3}$=$\pi_{ст4}$=1,25; $\pi_{ст5}$=1,3; $\pi_{ст6}$=1,2.

9.6.10 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 2.5.

В-1

1 Дайте определение камеры сгорания согласно ГОСТа-23851-79. Назовите основные требования предъявляемые к камерам сгорания.
2 Определить коэффициент избытка воздуха, если известны: расход воздуха 60 кг/с, а расход топлива 0,8 кг/с. Применяемое топливо – авиационный керосин. Что характеризует данный коэффициент?

В-2

1 Назовите основные параметры камеры сгорания. Что характеризуют эти параметры?
2 Как вы понимаете понятия низшая и высшая теплотворность авиационного топлива?

В-3

1 Назовите основные типы камер сгорания. Назовите их достоинства и недостатки.
2 В ГТД с высоконапорным компрессором с $\pi_к^*$=12,8 давление воздуха изменяется с 94,232 Па на входе в компрессор, а на выходе из камеры сгорания до 1158 кПа. Определить коэффициент восстановления полного давления. Полученное значение удовлетворяет требованиям, предъявляемым к камерам сгорания?

В-4

1 Опишите основные закономерности процесса горения топлива.
2 При полном сгорании 1 кг керосина в камере сгорания выделяется 44 000 кДж тепла. Определить количество тепла, которое выделяется в камере сгорания в единицу времени при сгорании 1 кг керосина, если коэффициент полноты сгорания топлива составляет 0,98.

9.6.11 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.1.

В-1

1 Приведите определение действительного цикла ГТД.
2 Для учёта газодинамических потерь в двигателе введены коэффициенты η_c и η_p. Какие потери оценивают эти коэффициенты?

В-2

1 Изобразите действительный цикл ТРД в «*p* – *v*» координатах. Опишите процессы, протекающие в реальном цикле.
2 Изобразите зависимости удельной тяги и удельного расхода топлива от степени повышения давления воздуха в двигателе.

В-3

1 Какие коэффициенты учитывают газодинамические потери в отдельных элементах двигателя, которые оказывают влияние на работу цикла?
2 Изобразите зависимости удельной тяги и работы цикла от степени повышения давления воздуха в двигателе.

В-4

1 Приведите совмещенное изображение идеального и действительного цикла ГТД.
2 Приведите определение и формулы для степени повышения давления воздуха в двигателе и степени подогрева воздуха.

9.6.12 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.2.

В-1
1 Классификация воздушно-реактивных двигателей (ВРД). Области применения ГТД.
2 Основные параметры, характеризующие работу входных устройств.
3 Задача: Определить полный КПД ВРД в полёте, если известны скорость полёта равная 740 м/с, удельный расход топлива 0,252 кг/(Н·ч), теплотворность авиационного керосина H_u=43150 кДж/кг. Расширение газа в сопле полное. Расходом топлива пренебречь.

В-2
1 Вывод формулы Б.С. Стечкина для тяги турбореактивного двигателя.
2. Назначение входных устройств ГТД. Требования, предъявляемые к входным устройствам.
3. Задача: Двигатель ПС-90А на взлётном режиме (Н=0, $М_н$=0) развивает тягу 158 кН при удельном расходе 0,038 кг/(Н·ч). Определить часовой расход топлива на этом режиме.

В-3
1 Удельные параметры ГТД прямой реакции. Определение, что они характеризуют?
2 Назовите основные направления защиты авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.
3 Задача: Определить полный КПД ВРД, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1200 м/с, скорость полёта самолёта 200 м/с, внутренней КПД ВРД при этом равен 0,35.

В-4
1 Требования, предъявляемые к современным ГТД, используемым в гражданской авиации.
2 Организация рабочего процесса в дозвуковых входных устройствах.
3 Задача: Определить тягу ТРД полёте, если известны: $M_н$=2,2; $T_н$=216 К, $G_г$=G_B=100 кг/с, p_c=$p_н$, c_c=1,5 V

В-5
1 Энергетический баланс и КПД газотурбинного двигателя.
2 Особенности организации рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах.
3 Задача: Двигатель массой 600 кг развивает тягу 12000 Н. Определить удельную массу двигателя. Каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

9.6.13 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.3.

В-1

1 Ступень осевого компрессора. Определение, схема. Основные параметры, характеризующие ступень осевого компрессора.

2 Характеристики многоступенчатого осевого компрессора и их анализ.

3 Задача: В восьмиступенчатом компрессоре степени повышения давления каждой ступени одинаковы и равны 1,25. Определить работу компрессора, если КПД ступеней равен 0,9. Наружные условия стандартные.

В-2

1 Принципиальная схема и принцип действия ступени осевого компрессора.

2 Влияние условий эксплуатации на характеристики и запас устойчивости компрессора.

3 Задача: Определить работу на валу компрессора $L_к$ и адиабатный КПД $\eta_к^*$, если по результатам измерений известны: $p_к^*=15\cdot10^5$ Па; $t_к^*=407^oC$; $p_в^*=760$ мм рт. ст.; $t_в^*=15^oC$.

В-3

1 Основные параметры, характеризующие компрессор ГТД. Их связь с параметрами ступени.

2 Характеристики компрессора в параметрах подобия, их анализ.

3 Задача: Степень повышения давления воздуха в компрессоре $\pi_к^*=16$, адиабатный КПД $\eta_к^*=0{,}86$. Определить предельную работу сжатия $L_к$ и подогрев воздуха в компрессоре ΔT^* при стандартных условиях на входе в компрессор.

В-4

1 Линии рабочих режимов и запас устойчивости компрессора в системе ГТД.

2 Ступень осевого компрессора с входным направляющим аппаратом (ВНА). Необходимость изменения ВНА. Изобразите треугольники скоростей на входе и выходе из рабочего колеса ступени.

3 Задача: Определить работу, затрачиваемую на вращение рабочего колеса осевой ступени компрессора, если известны: $U = 260$ м/с, $\Delta W_u = 120$ м/с.

В-5

1 Задачи и способы регулирования осевых компрессоров.

2 Изобразите и поясните принципиальные схемы компрессоров авиационных ГТД. Достоинства и недостатки.

3 Задача: Определить приведённый секундный расход воздуха и приведённую частоту вращения ротора компрессора, если при температуре 30^0C и давлении 101 340 Па замеренная частота вращения ротора равна $n_{зам} = 208$ $с^{-1}$, а замеренный расход воздуха через компрессор составил 60 кг/с.

9.6.14 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.4.

В-1

1 Камеры сгорания ГТД, их назначение, требования, предъявляемые к ним. Типы камер сгорания.

2 Изобразите рабочий процесс в ступени турбины и его иллюстрацию в «*p*-*v*» и «*T*-*s*» координатах.

3 Задача: Определить степень реактивности ступени турбины, если располагаемый теплоперепад в рабочем колесе $H_{р.к}$=360 кДж/кг. Объяснить физический смысл полученного результата.

В-2

1 Основные параметры камеры сгорания. Определение. Что они характеризуют?

2 Принципиальная схема и принцип действия ступени газовой турбины.

3 Задача: Определить КПД турбины в параметрах заторможенного потока, если работа турбины 360 кДж/кг, а располагаемый теплоперепад, определённый по параметрам заторможенного потока газа, 480 кДж/кг. Удовлетворяет ли данная многоступенчатая турбина по значению КПД требованиям, предъявляемым современным газовым турбинам?

В-3

1 Организация процесса горения в основных камерах сгорания.

2 Необходимость применения многоступенчатых газовых турбин. Формы проточной части турбин.

3 Задача: Проанализировать факторы, влияющие на величину работы турбины и мощности развиваемой турбиной.

В-4

1 Опишите основные закономерности процесса горения топлива.

2 Коэффициенты полезного действия турбины, их анализ. Потери в турбине.

3 Задача: В ГТД газ на входе в многоступенчатую турбину имеет следующие параметры: температуру 1500 К, предельный объём 0,8 м^3/кг. Газ, совершая работу в турбине, уменьшает своё давление до $0{,}9\cdot10^5$Па. Определить степень понижения давления газа в турбине. Принять $R_г$= 288 Дж/(кг·К)

В-5

1 Характеристики камер сгорания авиационных ГТД.

2 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин.

3 Задача: Давление газов на входе в четырёхступенчатую турбину $4{,}8\cdot10^5$ Па, а на выходе из третьей ступени давление уменьшилось до $1{,}2\cdot10^5$ Па. Степень понижения давления газов в четвёртой ступени равна 1,2. Определить степень понижения давления газов во всей турбине и давление газов на выходе из турбины. Выполните схему четырёхступенчатой турбины.

9.6.15 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.5.

В-1.

1 Особенности рабочего процесса ТРД. Анализ процессов протекающих в реальном цикле.

2 Программы и законы управления ГТД. Основные виды программ, реализуемые средствами автоматики.
3 Задача: Определить работу цикла и удельную тягу ТРД в полёте самолёта на высоте 11 км, с числом $М_н$=1,8, если известны: $\pi_{\sum}$ = 30; $T_г^*$=1500 К; η_p=0,92; η_c=0,84; $\overline{m}$ = 1,05.

В-2

1. Параметры рабочего процесса.
2 Законы управления двухвальным газогенератором. Реализация закона управления $\pi_{квд}$ = const;
3 Задача: Определить скорость истечения газа из реактивного сопла ТРД, а также развиваемую двигателем тягу при работе его на стенде (H = 0, $M_н$ = 0), при стандартных атмосферных условиях, если по результатам измерений известны: p_c^* = 1,8·10^5 Па, D_c = 1 м, $p_c = p_н$; t_c^* = 627^0С.

В-3

1 Работа цикла ТРД. Зависимость работы цикла от параметра рабочего процесса.
2 Режимы работы ГТД. Дроссельные характеристики ТРД.
3 Задача: Определить скорость истечения газа из сопла ТРД при его работе на стенде ($H = 0$, $M_н = 0$) при стандартных атмосферных условиях, если известно $\pi_{\sum}$ = 20, $T_г^*$=1400 К; η_p=0,92; η_c=0,86; $\overline{m}$ = 1,055, $М_н$ = 0.

В-4

1 Влияние параметров рабочего процесса на удельные параметры ТРД.
2 Высотные характеристики ТРД.
3 Задача: Определить работу цикла ТРД, если известны:

$\pi_г = \pi_{opt}$; $T_г^*$ = 1400 К; η_p = 0,92; η_c = 0,86; $\overline{m}$ =1,05.

В-5

1 Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ).
2 Скоростные характеристики ТРД.
3 Задача: Как изменится удельный расход топлива ТРД, если:

- общая степень повышения давления воздуха в двигателе уменьшится на один процент;
- температура газа перед турбиной увеличится на один процент.

Известны начальные исходные данные: $\pi_г$= 20; $T_г^*$ = 1400 К; η_p=0,92; η_c = 0,86; $\overline{m}$=1,05; $Т_н$=288 К, $М_н$ = 0.

9.6.16 Примерный перечень контрольных вопросов и задания для проведения текущего контроля успеваемости по теме 3.6.

В-1

1 ТРДД. Основные схемы и принцип работы.
2 Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией истекающей среды.
3 Задача: Определить мощность передаваемую на винт и суммарную тягу ТВД в полёте со скоростью 800 км/ч, если $G_в$=60 кг/с эффективная работа передаваемая на винт L_e=256 кДж/кг, $\eta_в$=0,8; $\eta_{ред}$=0,97, а распределение работы

цикла между винтом и реакцией оптимальное. При решении задачи массой топлива пренебречь, а расширение газа в сопле считать полным.

В-2

1 Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса.

2 Особенности эксплуатационных характеристик ТВД.

3 Приведите сравнение характеристик ТРД и ТВД. Сделайте выводы по результатам сравнения.

В-3

1 Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД).

2 Особенности эксплуатационных характеристик ТРДД.

3 Приведите сравнение характеристик ТРД и ТРДД. Сделайте выводы по результатам сравнения.

В-4

1 Схема и принцип работы и основные параметры турбовинтовых двигателей (ТВД).

2 Распределение суммарной тяги между контурами ТРДД.

3 Задача: Определить тягу ТРДД на земле в стандартных условиях, если известно, что: $L_{ц1}$ = 400 кДж/кг, m = 8, η_{II} = 0,9, расход воздуха через внутренний контур 80 кг/с, а распределение энергии между контурами оптимальное.

В-5

1 Работа цикла ТРДД без смещения потоков и оптимальное распределение её между контурами.

2 Особенности эксплуатационных характеристик ТВаД.

3 Задача: Определить удельный расход вертолётного двигателя, эффективную мощность на выводном валу, часовой расход топлива и внутренний КПД двигателя, если известно: $T_г^*$ =1500 К, $T_к^*$=723,32 К, $G_в$ = 6,62 кг/с; работу на валу свободной турбины $L_{ст}$ = 272031 Дж/кг; $g_т$=0,02; $g_{охл}$ = 0,09; $g_{отб}$ = 0,025; $\eta_г$ = 0,98, $C_п$ = 1,2723 кДж/(кг·К).

9.6.17 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по темам 1.1, 1.2:

Вариант 1.

1 Параметры состояния газа. Определение, единицы измерения.

2 Энтропия, определение. Изображение теплоты в тепловой «T-S» диаграмме.

3 Изохорный процесс: определение, исследование.

4 Задача: Вычислить работу, совершенную 1 кг азота в процессе его расширения в изобарном процессе при давлении $9{,}8 \cdot 10^5$ Па. Объём увеличивался от 0,2 м^3/кг до 1,7 м^3/кг. Показать в координатах «*p*-*v*» работу, совершённую газом.

Вариант 2.

1 Определение идеального газа. Уравнение состояния идеального газа.

2 Теплоёмкость газа, определение. Виды теплоёмкости.

3 Адиабатный процесс: определение, исследование.
4 Задача: Определить изменение внутренней энергии и величину работы при расширении 10 кг воздуха, если за счет подвода 1300 кДж тепла, его температура увеличилась на 100 К.

Вариант 3.

1 Дать определение термодинамического процесса, его графическое изображение.
2 Уравнение Майера. Физический смысл величин, входящих в уравнение.
3 Последовательность и объём расчета термодинамических процессов.
4 Задача: В каком из состояний внутренняя энергия 1 кг воздуха имеет большую величину: при давлении $4{,}9 \cdot 10^5$ Па и удельном объёме 0,8 $м^3$/кг или при том же давлении и температуре 1273 К?

Вариант 4.

1 Дать определение термодинамической системы (ТДС). Изобразить открытую и закрытую ТДС.
2 Первый закон термодинамики: формулировка, математическая запись. В чём практическое значение первого закона термодинамики?
3 Изотермический процесс: определение, исследование.
4 Задача: Определить давление воздуха в бортовом баллоне воздушного судна, если температура окружающей среды повысилась на 20 К. При температуре 15 °С давление в баллоне было $150 \cdot 10^5$ Па. Изменилась ли внутренняя энергия воздуха в баллоне? Если да, то почему?

Вариант 5.

1 Дайте определение изолированной ТДС, приведите пример.
2 Графическое изображение работы и теплоты в термодинамических процессах.
3 Изобарный процесс: определение, исследование.
4 Задача: Во сколько раз уменьшается объём пара в цилиндре в процессе сжатия, если перед сжатием газ имел давление $8 \cdot 10^4$ Па и температуру 300 К, а в конце сжатия параметры газа соответственно стали $80 \cdot 10^5$ Па и 600 К?

Вариант 6.

1 Дайте определение энтальпии. Напишите выражение для определения энтальпии, изменения энтальпии.
2 Каковы свойства идеальных обратимых процессов?
3 Последовательность и объём расчета термодинамических процессов.
4 Задача: В баллоне ёмкостью в 40 литров находится азот под давлением $105 \cdot 10^5$ Па при температуре 25 °С. Определить массу азота в баллоне.

9.6.18 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по темам 1, 3:

Вариант 1.

1 Какой процесс называется термодинамическим циклом (круговым процессом)?

2 Полезная работа и термодинамический КПД цикла. Изобразите полезную работу цикла на графиках.
3 В чем состоит практическое значение цикло Карно?
4 Как сформулировал второй закон термодинамики У.Томсон? Нарисуйте схему процесса, запрещенного вторым законом термодинамики в формулировке У. Томсона.
5 Как определить КПД идеального цикла?
6 Абсолютная температура нагревателя в три раза больше абсолютной температуры холодильника. Какую часть количества теплоты, полученную за один цикл от нагревателя, газ отдает холодильнику?

Вариант 2.

1 Изобразите прямой цикл в рабочей и тепловой диаграммах.
2 Сформулируйте теорему Карно, приведите математическую формулу этой теоремы.
3 Нарисуйте принципиальную схему тепловой машины, назовите её составные части.
4 Как сформулировал второй закон термодинамики Р. Клаузиус? Нарисуйте схемы процесса, запрещенного вторым законом термодинамики в формулировке Р. Клаузиуса.
5 Можно ли создать идеальный тепловой двигатель с КПД равным единице?
6 Тепловая машина, работающая по циклу Карно, с КПД 20%, используется при тех же условиях как холодильная установка. Найдите её холодильный коэффициент.

Вариант 3.

1 В чём состоит практическое значение циклов?
2 Что оценивает термодинамический КПД цикла? Приведите математическую формулу этого коэффициента.
3 Нарисуйте принципиальную схему холодильной машины. Чем она отличается от тепловой машины?
4 Сформулируйте второй закон термодинамики, используя понятие энтропии.
5 Какова теоретическая модель теплового двигателя?
6 Газ совершает цикл Карно, 75% от количества теплоты, полученного от нагревателя, отдаёт холодильнику. Температура холодильника 273 К. Чему равна температура нагревателя?

Вариант 4.

1 Изобразите произвольный цикл в рабочей диаграмме, в котором происходит превращение теплоты в работу?
2 Чем отличаются обратные циклы от прямых циклов?
3 Из каких процессов состоит цикл Карно? Изобразите цикл Карно в рабочей и тепловой диаграммах.
4 Приведите основные формулировки второго закона термодинамики.
5 Почему нельзя создать идеальный двигатель с КПД равным единице, если использовать в качестве холодильника тело при абсолютном нуле?

6 Температура нагревателя идеальной тепловой машины, работающей по циклу Карно, равна 227 ^{o} С, температура холодильника 127 ^{o}С. Во сколько раз надо увеличить температуру нагревателя, чтобы КПД машины увеличился в 3 раза?

9.6.19 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.3. (Письменная самостоятельная работа):

Вариант 1.

1 При каких допустимых значениях производится переход от реальных циклов к идеальным?

2 Назовите основные параметры определяющие работу цикла и термический КПД цикла.

3 Назовите циклы поршневых двигателей реализуемых в современной технике.

4 Изобразите цикл ГТД в рабочей «*p-v*» диаграмме и покажите площади эквивалентные:

А) Работе сжатия в адиабатном процессе;

Б) Работе расширения в адиабатном процессе;

В) Полезной работе цикла;

5. Определение параметров рабочего тела в характерных точках цикла ГТД.

Вариант 2.

1 С какой целью исследуются циклы тепловых двигателей?

2 Назовите основные элементы ГТД. Какие термодинамические процессы в них протекают при работе ГТД?

3 Сравните циклы Отто и Дизеля. Назовите достоинства и недостатки каждого цикла.

4 Изобразите цикл ГТД в тепловой « «T-S» диаграмме и покажите площади эквивалентные:

А) Подведённому к рабочему телу теплу в цикле;

Б) Отведённому от рабочего тела теплу в цикле;

В) Величине тепла, преобразованной в полезную работу цикла.

5 Определение термического КПД цикла ГТД. Параметры, определяющие работу и КПД цикла.

9.6.20 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме 1.4:

Вариант 1.

1 Параметры заторможенного потока, определение, их зависимость со статическими параметрами.

2 Как определяются формы канала для разгона и торможения газового потока?

3 Определить расход воздуха через критическое сечение сопла, если известны: площадь критического сечения 0,5 м^2, полные параметры воздуха на входе в сопло: давление – $3\cdot10^5$ Па, температура – 900 К.

Вариант 2.

1 Вывод формулы скорости истечения газа из сопла.
2 Назовите условия для получения дозвукового потока.
3 Определить газодинамические функции давления, температуры, плотности, плотности тока газа, скорость температуру и плотность газа в выходном сечении сопла, если известно, что p_o*= $15 \cdot 10^5$ Па, T_o* = 1500 К, p_c=$1{,}1 \cdot 10^5$ Па. Для газа принять: k = 1,4 ; R = 400 Дж/(кг·К).

Вариант 3.

1 Критические параметры газового потока. Критическая скорость.
2 Назовите условия для получения сверхзвукового потока.
3 Определить скорость и параметры состояния газа в сечении суживающегося сопла, где давление составляет $1 \cdot 10^5$ Па, если на входе в сопло параметры заторможенного потока соответственно равны: давление – $1{,}5 \cdot 10^5$ Па, температура – 900 К.

Вариант 4.

1 Газодинамические функции и их использование при расчётах газовых потоков.
2 Назовите условия для получения звукового потока.
3 Определить температуру заторможенного потока у передней части крыла самолёта, летящего со скоростью, соответствующей числу M = 2,5 на высоте 11000 м. Процесс торможения считать адиабатным.

9.6.21 Примерный перечень экзаменационных вопросов:

1 Термодинамические системы (ТДС), определение, составные части ТДС, закрытые и открытые ТДС.
2. Газ как рабочее тело. Идеальный и реальный газы. Уравнение состояния идеального газа.
3 Параметры состояния рабочего тела, определение, их физическая сущность, единицы измерения.
4 Определение, графическое изображение термодинамического процесса. Обратимый и необратимый процессы.
5 Работа газа, как форма передачи энергии в термодинамическом процессе. Графическое изображение.
6 Теплота, как форма передачи энергии в термодинамическом процессе. Энтропия.
7 Внутренняя энергия термодинамической системы. Изменение внутренней энергии. Энтальпия.
8 Теплоёмкость газа. Виды теплоёмкости. Уравнение Майера.
9 Сущность первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.
10 Последовательность и объём расчёта термодинамических процессов.
11 Определение, осуществление, исследование основных (идеальных) термодинамических процессов.
12 Обобщающее значение политропных процессов.
13 Круговые процессы (циклы). Прямые и обратные циклы.
14 Цикл Карно. Теорема Карно.

15 Сущность второго закона термодинамики. Основные формулировки.
16 Второй закон термодинамики и энтропия.
17 Особенности термодинамического метода исследования циклов тепловых двигателей.
18 Схема устройства и принцип работы авиационных ГТД.
19 Расчёт и анализ идеального цикла ГТД.
20 Определение параметров рабочего тела в характерных точках идеального цикла ГТД.
21 Скорость звука. Число М. Дозвуковая, звуковая, сверхзвуковая скорости движения газа.
22 Распространение слабых возмущений в движущемся газе.
23 Обтекание сверхзвуковым потоком плоской стенки, выгнутых и вогнутых поверхностей.
24 Скачки уплотнения, их особенности. Изменение параметров потока в скачках уплотнения.
25 Уравнение неразрывности.
26 Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа.
27 Уравнение сохранения энергии.
28 Обобщенное уравнение Бернулли.
29 Уравнение Эйлера о количестве движения.
30 Уравнение Эйлера о моменте количества движения.
31 Уравнение профиля струи для энергоизолированного потока без трения.
32 Сопловые и диффузорные каналы. Основные закономерности течения газового потока в каналах переменного сечения.
33 Параметры заторможенного потока газа (полные параметры).
34 Скорость движения газа в сопле. Максимально-возможная скорость газа.
35 Критическая скорость и критические параметры газа.
36 Газодинамические функции и их использование при расчётах газовых потоков.
37 Условия получения дозвуковых, звуковых и сверхзвуковых скоростей течений газа.
38 Работа дозвукового и сверхзвукового сопла на расчётном и нерасчётном режимах.
39 Расход газа через сопло, факторы, влияющие на расход газа.
40 Особенности разгона газа и торможения потока газа при различных воздействиях.
41 Основные задачи теории теплообмена. Виды переноса тепла.
42 Температурное поле. Градиент температуры. Закон Фурье.
43 Теплопроводность плоских однослойных и многослойных стенок.
44 Конвективный теплообмен. Уравнение Ньютона.
45 Применение теории подобия к расчёту конвективной теплоотдачи.
46 Критерии подобия процессов конвективного теплообмена. Теоремы подобия.
47 Теплообмен излучением. Законы теплового излучения.
48 Особенности теплового излучения газов.
49 Защитные экраны.

50 Теплообменные аппараты, назначение, основные типы, их применение в авиационной технике.
51 Методы расчёта рекуперативных теплообменных аппаратов.
52 Способы повышения эффективности теплообменников.
53 Методы тепловой защиты элементов конструкции авиационных ГТД.

Примерный перечень вопросов для текущего опроса

1 семестр

1 Назначение, схемы входных устройств ГТД.
2 Требования, предъявляемые к входным устройствам.
3 Основные технические показатели (параметры) входных устройств.
4 Устройство дозвукового воздухозаборника.
5 Организация рабочего процесса при его работе на земле ($V = 0$).
6 Организация рабочего процесса в дозвуковом устройстве при его работе в полете ($V > C_{вх}$).
7 Влияние условий полета на скоростную степень повышения давления.
8 Организация рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах на расчетном режиме.
9 Нерасчетные режимы работы сверхзвуковых входных устройств.
10 Задачи и способы регулирования СВУ.
11 Защита авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.
12 Назначение компрессора, типы компрессоров, требования, предъявляемые к компрессорам.
13 Схема и принцип работы ступени осевого компрессора.
14 Изменение параметров рабочего тела в ступени осевого компрессора.
15 Схема и принцип работы ступени ОК с ВНА.
16 Изменение параметров рабочего тела в ступени ОК с ВНА.
17 Особенности сверхзвуковой ступени осевого компрессора.
18 Понятие о профилировании лопаток осевого компрессора.
19 Многоступенчатые компрессоры, необходимость их применения.
20 Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь с параметрами ступени.
21 Многокаскадные компрессоры.
22 Характеристики компрессора, определение, методы получения, графическое изображение, анализ.
23 Характеристики компрессора в параметрах подобия.
24 Расчетные и нерасчетные режимы работы компрессора.
25 Неустойчивая работа осевого компрессора.
26 Виды неустойчивой работы.
27 Линия рабочих режимов (ЛРР) и запас устойчивости компрессора в системе ГТД.
28 Задачи и способы регулирования осевых компрессоров.
29 Регулирование компрессора перепуском воздуха над рабочими лопатками первых ступеней и из отдельных ступеней компрессора.

30 Регулирование компрессоров поворотом лопаток направляющих аппаратов его отдельных ступеней.
31 Регулирование компрессоров применением многокаскадных компрессоров.
32 Влияние условий эксплуатации на характеристику и запас устойчивости компрессора.
33 Схема и принцип работы центробежного компрессора.
34 Камеры сгорания ГТД, назначение, требования, предъявляемые к ним.
35 Основные типы камер сгорания.
36 Параметры камер сгорания.
37 Организация процесса горения в основных камерах сгорания ГТД.
38 Назначение, основные параметры, требования, предъявляемые к газовым турбинам.
39 Типы турбин.
40 Схема и принцип работы ступени газовой турбины.
41 Изменения параметров газа в ступени турбины.
42 Необходимость применения многоступенчатых турбин.
43 Формы проточной части турбин.
44 КПД турбины, их анализ.
45 Потери в ступени турбины.
46 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин.
47 Эффективность различных способов воздушного охлаждения.
48 Выходные устройства ГТД, назначения, схемы, основные параметры, характеризующие работу входного устройства.
49 Реверс тяги.
50 Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам.
51 Схемы реверсивных устройств.

2 семестр

1 Основные параметры ГТД.
2 Вывод формулы тяги ВРД.
3 Энергетический баланс и КПД ГТД.
4 Действительный цикл ГТД.
5 Работа цикла ГТД.
6 Параметры рабочего процесса.
7 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени повышения давления воздуха.
8 Оптимальная степень повышения давления.
9 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени подогрева воздуха.
10 Зависимость удельного расхода топлива от степени подогрева воздуха.
11 Экономическая степень повышения давления воздуха.
12 Условия совместных режимов работы функциональных элементов ГТД
13 Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ).
14 Линия рабочих режимов.
15 Программы и законы управления ТРД.
16 Управляемые параметры.
17 Управляющие факторы.

18 Основные виды программ, реализуемые средствами автоматики.
19 Законы управления двухвальным газогенератором.
20 Реализация основных законов управления.
21 Влияние параметров рабочего процесса на КПД ТРД.
22 Режимы работы ГТД. Дроссельные характеристики ТРД.
23 Высотные характеристики ТРД.
24 Скоростные характеристики ТРД.
25 ТРДД, основные схемы и принцип работы.
26 Распределение суммарной тяги между конкурентами ТРДД.
27 Работы цикла ТРДД и без смешения потоков.
28 Оптимальное распределение энергии в ТРДД.
29 Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса.
30 Особенности характеристик ТРДД.
31 Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД).
32 Эксплуатационные характеристики ТВаД.
33 Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта (НВ) вертолета.
34 Схемы, принцип работы и основные параметры ТВД.
35 КПД ТВД.
36 Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией струи.
37 Особенности управления и совместной работы элементов ТВД.
38 Особенности эксплуатационных характеристик ТВД.
39 Форсирование ГТД.
40 Методы форсирования.
41 Организация процесса горения в форсажных камерах сгорания ГТД.
42 Требования к динамическим характеристикам ГТД. У
43 равнения динамики на переходных режимах.
44 Запуск ГТД.
45 Работа ГТД на переходных режимах.
46 Эксплуатационные ограничения режимов работы ГТД.
47 Источники шума ГТД, формирование уровня шума по местности.
48 Эмиссия авиационных ГТД.
49 Виды эмиссии.
50 Методы нормирования эмиссий.
51 Влияния давления, температуры и влажности воздуха на параметры и характеристики ГТД.
52 Приведение данных испытаний ГТД к стандартным атмосферным условиям.
53 Влияние эрозийного износа и загрязнения элементов проточной части на параметры и характеристики ГТД в условиях эксплуатации на пыльных аэродромах.

9.6.21 Примерный перечень индивидуальных домашних заданий:

Индивидуальное домашнее задание № 1

Задача 1.1

Давление газа в баллоне самолёта p = №·10^2 кгс/м^2, выразить это давление в кгс/см^2.

Задача 1.2

Давление газа за компрессором двигателя №·10 кгс/см^2. Выразить это давление: в миллиметрах ртутного столба, кгс/м^2, Па, миллиметрах водяного столба.

Задача 1.3 Манометр, установленный в открытой кабине самолёта, находящегося на земле, и измеряющий давление масла, показывает №·6 кгс/см^2 при показании барометра 752 мм.рт.ст.

1) Каково абсолютное давление масла, выраженное в ньютонах на квадратный метр, мегапаскалях, килограмм-силах на квадратный метр, килограмм-силах на квадратный сантиметр, миллиметрах ртутного столба?

2) Каковы будут показания манометра в этих же единицах после подъёма самолёта на некоторую высоту, где атмосферное давление В = 442,5 мм.рт.ст., если абсолютное давление остается неизменным?

Ускорение свободного падения считать нормальным ($g_H = 9{,}8055$ м/с^2) и не зависящим от высоты подъёма самолёта. Плотность ртути и воды принимать соответственно при 0 и при 4 °С.

Задача 1.4

Давление газа в баллоне 0,5·(№ + 20) миллиметров водяного столба, выразить в мм.рт.ст., кгс/см^2, кгс/м^2, Паскалях.

Задача 1.5

Построить графики изменения давления воздуха и температуры воздуха в зависимости от изменения высоты. Значение давления по высоте и температуры по высоте взять из таблицы МСА.

По полученным графикам сделать вывод.

H, км	0	2	4	6	8	10	11,5	12	14	16	18	20
p, Па												
T, К												

Задача 1.6

Определить плотности № 10 кг газа, занимающего объёмы 10, 20, 30 м^3. Сделать вывод о зависимости этих величин между собой.

Задача 1.7

Для измерения малых избыточных давлений или небольших разряжений применяются микроманометры. Принципиальная схема прибора представлена на рис. 1.1.

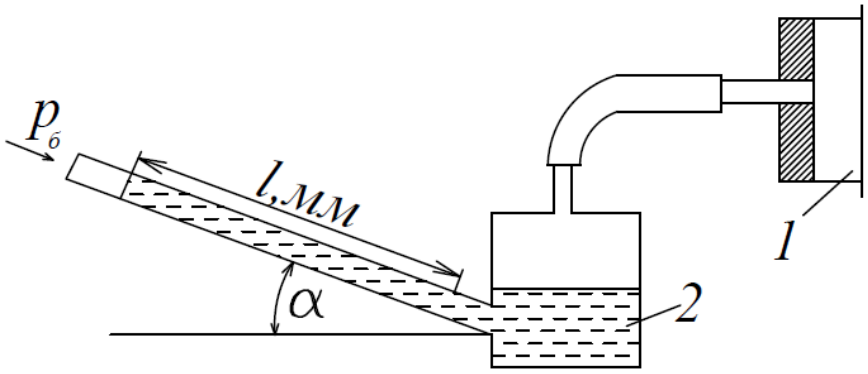


Рис.1.1. К задаче

Определить абсолютное давление в воздухопроводе 1, если длина *l* столба жидкости в трубке микроманометра 2, наклонённой под углом α=30º, равна (180+№)мм.

Рабочая жидкость – спирт плотностью ρ=0,8 г/см^3. Показание барометра (0,1020 + №·0,002) МПа. Давление выразить в Паскалях, Мегапаскалях, мм.рт.ст. и в килограмм-силах на квадратный сантиметр.

Задача 1.8

Определить газовую постоянную, если при давлении (N + 5) кгс/см^2 и температуре 727 °С плотностью газа составляет 0,685 кг/м^3. Задачу решить в системе СИ.

Задача 1.9

Сравните давление газа в баллонах, изображенных на рисунках 1.2, 1.3, 1.4. Как называются приборы, показывающие давление в баллонах? Получите формулу для вычисления абсолютного давления газа в баллоне в паскалях по высоте столба жидкости *h*, если жидкостью является вода, а барометрическое давление измеряется в мм.рт.ст.

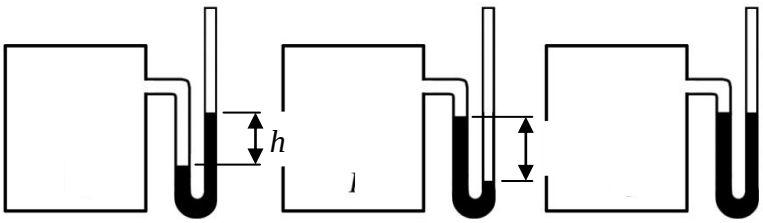


Рис.1.2 Рис.1.3 Рис.1.4

Индивидуальное домашнее задание № 2

Задача 2.1

Определить внутреннюю энергию 1 кг воздуха при следующих значениях температуры:

t_1 = 20 °С; t_2 = 40 °С; t_3 = 60 °С; t_4 = 80 °С; t_5 = 100 °С. По полученным данным построить график изменения внутренней энергии 1 кг воздуха в зависимости от температуры. Сделать вывод по задаче.

Задача 2.2

Вычислить работу, совершённую 1 кг воздуха в процессе его расширения при постоянном давлении p = 1,2·№·10^4 Па, если:
а) объём увеличился от 0,1 $м^3$/кг до 0,9 $м^3$/кг
б) температура увеличилась от 473 К до 1000 К.
Задача 2.3
За счёт подвода №·15 Дж теплоты при расширении 1 кг воздуха произведена работа. Определить изменение температуры воздуха, если расширеннее воздуха происходило при постоянном давлении.
Задача 2.4
Сжатый воздух при давлении $150·10^5$ Па и температуре 273 К находятся в баллоне объёмом №·10^{-3} $м^3$. Вследствие подогрева температура воздуха повысилась до 288 К. Определить количество подвёденной теплоты и конечное давление.
Задача 2.5
В начальном состоянии воздух имел удельный объём 0,5 $м^3$/кг и начальную температуру 293 К. После подвода теплоты при постоянном давлении температура воздуха повысилась на 100 К. Определить давление воздуха, конечный удельный объём и количество подведённой теплоты.
Задача 2.6
Когда работа и теплота считаются положительными и когда отрицательными?
Задача 2.7
Как связаны между собой удельные теплоёмкости газа при постоянном давлении и при постоянном объёме? Какая из этих величин имеет большее численное значение и почему?
Задача 2.8
Назовите величины, характеризующие термодинамическую систему.
Задача 2.9
Что такое энтропия? Можно ли измерить эту величину приборами?
Задача 2.10
Покажите графическое изображение работы и теплоты в произвольном термодинамическом процессе.
Задача 2.11
Сформулируйте 1 закон термодинамики и напишите аналитические выражения закона в общем виде, через энтропию, через энтальпию.
Задача 2.12
Напишите выражение для определения технической работы и покажите в координатах “p – v” изображение этой работы.
Задача 2.13
Как вы понимаете, что первый закон термодинамики, можно рассматривать как принцип запрета perpetuum mobile?
Задача 2.14
Что такое энтальпия, что она характеризует? Напишите выражение для вычисления энтальпии, изменения энтальпии. К рабочему телу при p=const подвели 150 кДж/кг тепла. На сколько изменилась энтальпия рабочего тела.
Задача 2.15

Газ, состояние которого определяется на “*p – v*” диаграмме (рис. 2.1) точкой *1*, переводится в состояние *2* по пути *1c2*. При этом к газу подводится 80 кДж энергии в виде теплоты и от газа получается 30 кДж работы. Затем этот же газ возвращается в исходное состояние в процессе, который описывается кривой *2a1*.

Сколько энергии в виде теплоты нужно подвести в некотором другом процессе *1d2*, чтобы от г получить 10 кДж работы? Сколько нужно подвести или отвести теплоті процессе *2a1*, если на сжатие расходуется 50 кДж энергии в форме работы?

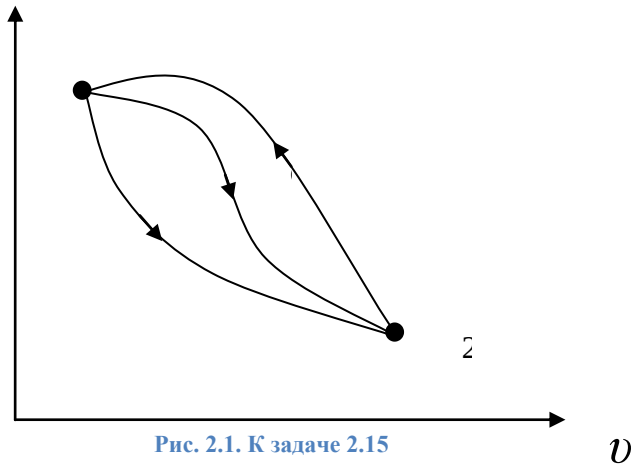


Рис. 2.1. К задаче 2.15

Индивидуальное домашнее задание № 3

Задача 3.1

Определить давление воздуха в бортовом баллоне самолёта, если температура окружающей среды повысилась на 20 К. При температуре 283 К давление в баллоне равно $150 \cdot 10^5$ Па.

Задача 3.2

В пустой бортовой баллон ёмкостью $5 \cdot 10^{-3}$ м^3 и массой 9 кг накачали воздух. Определить давление в баллоне, если его температура повысилась с 300 до 600 К, а масса наполненного баллона стала 9,8 кг.

Задача 3.3

Один кг воздуха, занимающий объём 2 м^3 под давлением №$\cdot 10^5$ Па изотермически сжимают до давления 4·№$\cdot 10^5$ Па. Определить объём воздуха в конце процесса сжатия и работу, совершённую внешними силами.

Задача 3.4

Один кг воздуха, имеющий давление 60·№$\cdot 10^4$ Па и температуру 300 К, изотермически расширяется до давления 6·№$\cdot 10^4$ Па. Определить начальный и конечный объёмы воздуха, а также работу, совершённую воздухом и количество подведённой теплоты.

Задача 3.5

В политропном процессе расширения параметры состояния воздуха изменились от значения p_1 = 180·№·10^4 Па, T_1 = 1200 К до p_2 = 18·№·10^4 Па и T_2 = 900 К. Определить начальный и конечный удельные объёмы и работу, совершённую воздухом. Показатель политропы принять равным n = 1,3.

Задача 3.6

Определить давление газа в конце адиабатного расширения, если начальные параметры $p_1 = 20 \cdot 10^4$ Па и υ_1 = 0,5 м^3/кг. В процессе расширения газ совершил работу $2 \cdot 10^4$ Дж/кг. Определить изменение внутренней энергии газа.

Задача 3.7

Во сколько раз уменьшился объём газа в цилиндре в процессе сжатия, если перед сжатием $p_1 = 8 \cdot 10^4$ Па и T_1 = 300 К, а в конце сжатия $p_2 = 80 \cdot 10^4$ Па и T_2 = 600 К.

Задача 3.8

В каком из состояний внутренняя энергия 1 кг воздуха имеет большую величину: при давлении $4{,}9 \cdot 10^5$ Па и объёме 0,8 м^3 или при том же давлении и температуре 1273 К?

Задача 3.9

Можно ли 1 кг воздуха путём сжатия и нагрева привести в состояние, характеризуемое следующими данными:

а) p_1 = 147 10^4 Па;	υ_1 = 0,5 м^3/кг;	T_1 = 373 К
б) p_2 = 9,57 10^4 Па;	υ_2 = 0,15 м^3/кг;	T_2 = 50 К

Задача 3.10

Определить массу воздуха, находящегося в комнате площадью 25 м^2 и высотой 3,2 м. Принять, что температура воздуха в комнате t = 22 ºС , а барометрическое давление B = 986,5 гПа.

Задача 3.11

Давление водяных паров в воздухе комнаты равно 2 кПа. Сколько содержится водяного пара в комнате? Площадь комнаты 25 м^2, высота 3 м, температура воздуха 25 ºС . Молекулярная масса водяного пара μ_{H_2O} = 18,014 кг/кмоль

Задача 3.12

В комнате площадью 35 м^2 и высотой 3,1 м воздух находится при t = 23 ºС и барометрическом давлении B = 973 гПа.

Какое количество воздуха проникает с улицы в комнату, если барометрическое давление увеличится до B = 1013 гПа. Температура воздуха остается постоянной.

Задача 3.13

Как определить знаки работы, внутренней энергии и теплоты в политропных процессах.

Индивидуальное домашнее задание № 4

Задача 4.1

Назовите основные свойства движущегося газа.

Задача 4.2

Какими параметрами характеризуется движущийся газ?

Задача 4.3

Дайте определение числу Маха.

Задача 4.4

До какого значения числа Маха, поток газа можно рассматривать, как несжимаемую среду?

Задача 4.5

Определить скорость звука в воздухе при температуре:

t_1 = 0 °С; t_2 = -30 °С; t_3 = 30 °С; t_4 = 56 °С.

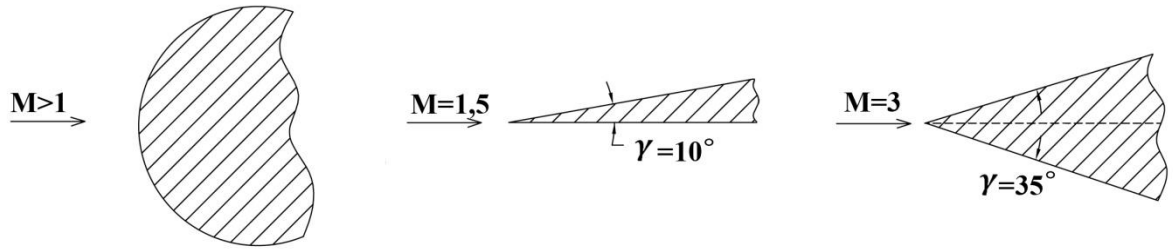
Сделать вывод по полученным результатам.

Задача 4.6

Определить скорость звука в воздухе и число Маха полета самолёта, летящего со скоростью V = 1080 км/ч на высоте H = 5 км; H = 10 км; H = 15 км. Сделать вывод по полученным результатам.

Задача 4.7

Какие скачки образуются при обтекании потоком тел, изображенных на рисунках 6.1,а; 6.1,б ; 6.1,в?



6.1, а 6.1, б 6.1, в

Задача 4.8

Укажите приблизительно направление скорости потока за скачком. Какой будет поток за скачком? Сравните M_2 с M_1, M_2' с M_1' и со скоростью звука.

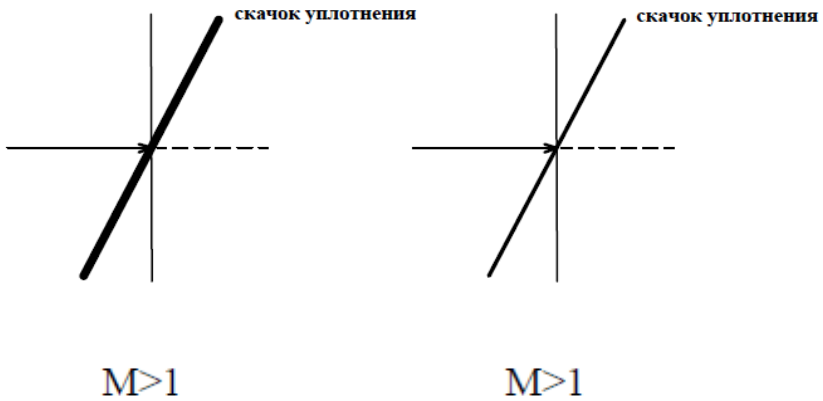


Рис.6.2, а. К задаче 6.8 Рис.6.2, б. К задаче 6.8

Задача 4.9

При обтекании сверхзвуковым потоком тела, образуется коническая волна возмущений, с углом наклона граничной волны α = 30°. Определить число Маха потока. Может ли угол принять значение, равное 90°?

Задача 4.10

В лабораторных условиях клинообразное тело обтекается потоком со скоростью, соответствующей числу Маха = 1,5. Возникший при этом косой скачок уплотнения и вектор скорости потока образуют угол α = 45°. Известно, что нормально составляющая скорости потока за скачком уплотнения уменьшается в два раза. Определить скорость потока за скачком. Останется ли поток

сверхзвуковым и на какой угол повернется поток после скачка, по сравнению с первоначальным направлением?

Задача 4.11

Газы в выходном сечении сопла ТРД имеют скорость 550 м/с и температуру 600 °С. Найти число Маха в этом сечении.

Индивидуальное домашнее задание № 5

Ответить на вопросы:

Вопрос 5.1

Написать и сформулировать уравнение неразрывности для жидкости и несжимаемого газа.

Вопрос 5.2

Дать определение энтальпии (теплосодержания), написать её формулу и сравнить величину энтальпии с величиной внутренней энергии.

Вопрос 5.3

Написать и сформулировать уравнение сохранения энергии:

а) в общем виде; б) для энергоизолированного потока.

Вопрос 5.4

Как получить обобщенное уравнение Бернулли? Напишите и сформулируйте.

Вопрос 5.5

Напишите уравнение Бернулли для несжимаемого потока.

Вопрос 5.6

Назовите уравнение $\left(\frac{dF}{F}+\frac{dc}{c}+\frac{d\rho}{\rho}=0\right)$

Вопрос 5.7

$Q_{внешн} + L_г = i_2 - i_1 - \int_1^2 \frac{dp}{\rho}$ - назовите уравнение и величины, в неё входящие.

Решить задачи:

Задача 5.1

Определить расход воздуха через двигатель, если известны: осевая составляющая скорости движения воздуха на входе в компрессор (2·№+180) м/с, плотность 1,2 кг/м^3, диаметр на входе в компрессор 0,5 м.

Задача 5.2

По каналу переменного сечения движется воздух. В первом сечении канала площадь 0,5 м^2, скорость воздуха 0,5 · № · 10 м/с и плотность 0,7 кг/м^3. Определить скорость воздуха во втором сечении канала, если площадь 0,14 м^2 и плотность 0,42 кг/м^3.

Задача 5.3

Поток газа входит в канал со скоростью № · 10 м/с. Пренебрегая трением, сжимаемостью газа определить скорость на выходе из канала, если отношение площадей выходного сечения к входному равно 0,8.

Задача 5.4

Определить сумму теплосодержания и тепла, эквивалентного кинетической энергии 1 кг воздуха, если температура воздуха 500 К и скорость движения его 2 · № · 10 м/с.

Задача 5.5

При движении энергоизолированного потока газа по каналу его температура понизилась на (10+№)·20 К. Определить изменение кинетической энергии газа.

Задача 5.6

Определить количество подведённого тепла в камере сгорания, если скорость потока на входе во входное устройство 400 м/с и температура 300 К, на выходе из реактивного сопла скорость 0,5 · № · 1000 м/с, а температура 1000 К.

Задача 5.7

В ГТД к каждому килограмму воздуха от компрессора подводится работа, равная 80000 Дж/кг. На что затрачивается эта работа? Определить температуру воздуха за компрессором, если температура воздуха на входе в него была равной (10+№)·25 ºС.

Задача 5.8

На рабочем колесе турбины при расширении газа получена механическая работа 550000 Дж/кг. Определить на сколько уменьшилась температура газа, если его скорость уменьшилась от 850 м/с до 200 м/с.

Индивидуальное домашнее задание № 6

Задача 6.1

Определить скорость истечения газа из реактивного сопла в атмосферу при следующих данных: давление газа перед соплом 20·№·10^4 Па, температура равна 700 К, давление газа на выходе из сопла 1·10^5 Па.

Задача 6.2

Определить максимально возможную скорость истечения воздуха из сопла при следующих значениях полной температуры газа перед соплом: 500 К; 1000 К; 1500 К; 2000 К. Построить графическую зависимость максимально возможной скорости воздуха от температуры.

Задача 6.3

По данным задачи 8.2 определить величину критической скорости.

Задача 6.4

Определить параметры состояния воздуха в критическом сечении сопла, если известны полные параметры на входе в сопло: давление $2 \cdot 10^5$ Па, температура 288 К.

Задача 6.5

Определить величину критической скорости потока воздуха, если известно, что в произвольном сечении сопла при скорости 400 м/с, температура составляет 208 К.

Задача 6.6

Определить расход воздуха через дозвуковое сопло, если известны: площадь сечения 0,5 м^2; скорость потока в сечении 180 м/с, плотность воздуха 1,05 кг/м^3.

Задача 6.7

Определить скорость и параметры состояния газа в сечении суживающегося сопла, где давление 10^5 Па, если на входе в сопло параметры заторможенного потока соответственно равны:

- давление $1{,}5 \cdot 10^5$ Па, температура 900 К.

Задача 6.8

Определить температуру заторможенного потока у передней части крыла самолета, летящего со скоростью, соответствующей числу M = 2,3 на высоте 12000 м. Процесс торможения считать адиабатным.

Задача 6.9

Для суживающегося сопла известны следующие данные: параметры заторможенного потока воздуха на входе в сопло: давление $2{,}5 \cdot № \cdot 10^5$ Па, температура 1000 К; атмосферное давление $1 \cdot 10^5$ Па, расход воздуха 50 кг/с. Определить площадь выходного сечения сопла, параметры состояния воздуха и скорость потока в этом сечении.

Задача 6.10

Определить скорость газа и скорость звука в критическом сечении сопла, если температура газа в критическом сечении 833 К.

Задача 6.11

Определить расход воздуха через критическое сечение сопла, если известны: площадь критического сечения 0,5 м^2: полные параметры на входе в сопло: давление – $2{,}5 \cdot № \cdot 10^5$ Па, температура 900 К.

Задача 6.12

Определить газодинамические функции давления, температуры, плотности, плотности тока газа, скорость, температуру и плотность газа в выходном сечении сопла, если известно, что p_0^* = (15+№)$\cdot 10^5$ Па, T_0^* = 2000 К, $p_с$ = $1{,}2 \cdot 10^5$ Па. Для газа принять: k = 1,4; R = 400 Дж/(кг·К). Определить также размеры выходного сечения сопла, если расходы газа составляют 2·№ кг/с.

Задача 6.13

Какое сопло нужно установить, чтобы полностью использовать располагаемый перепад давлений при истечении воздуха от начальных параметров p_0^*= 2,5 МПа и T_0^*= 423 К до давления, $p_с$ = 1,4 МПа? Какова

действительная скорость истечения, если коэффициент скорости сопла равен 0,9 ?

Задача 6.13

По данным задачи 8.13 определить действительную скорость истечения воздуха для разных значений температуры на входе в сопло T_0^* = 503 К и 600 К, и по полученным результатам сделать вывод.

Индивидуальные домашние задания

Индивидуальное задание №1

Задача 1

Определить тягу ТРД, если C_C=1500 м/с, скорость полета самолета 250 м/с и расход воздуха 50 кг/с. Считать, что газ в силовой установке расширяется полностью.

Задача 2

По данным задачи 1.1 определить тягу двигателя при его работе на земле.

Задача 3

По данным задачи 1.1 определить удельную тягу двигателя несколькими способами. Каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

Задача 4

Определить удельный расход топлива двигателя, если при расходе топлива 437,5 кг·ч развивает тягу 12,5 кН.Каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

Задача 5

Двигатель массой 600 кг развивает тягу 12000 Н.Определить удельную массу двигателя, каков физический смысл данного параметра и что он характеризует?

Задача 6

Определить удельную тягу ТРД, развивающего тягу 180 кН, при расходе воздуха через двигатель 100 кг/с.

Задача 7

Определить часовой расход топлива ТРДФ, развивающего тягу 525 кН,если удельный расход топлива составляет 0,02 кг/(Н·ч).

Задача 8

Определить тяговый КПД ВРД, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1500 м/с, скорость полета самолета 250 м/с.

Укажите, какой тип ГТД используется на воздушных судах Ил-96-30а, Ил-86, Ту-154М, Ту-204 Ан-74, Ан-148, SuperJet-100.

Задача 9

Определить полный КПД ВРД при работе двигателя на месте, если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1500 м/с, внутренний КПД ВРД 0,3.

Задача 10

Определить полный КПД ВРД,если при скорости истечения газов из реактивного сопла 1200 м/с, скорость полета самолета 200 м/с, внутренний КПД ВРД при этом 0,35.

Задача 11

Определить полный КПД ВРД,если известны: тяговый КПД –0,6; внутренний КПД – 0,28.Удовлетворяет ли значение вычисленного КПД требованиям современных ГТД?

Задача 12

Определить удельный расход топлива, если при сгорании топлива в камере сгорания к каждому килограмму рабочего тела подводиться $6 \cdot 10^6$ Дж/кг тепла, скорость истечения газа из сопла 1500 м/с скорость полета 250 м/с. Принять коэффициент полноты сгорания топлива, равным 0,97 и теплотворность топлива 42800 кДж/кг.

Задача 13

Двигатель ПС-90А на взлетном режиме (Н=0, M_H=0) развивает тягу 158 кН при удельном расходе 0,038 кг/(Н·ч). Определить часовой расход топлива при этом режиме.

Задача 14

Определить полный КПД ВРД,если известно, что скорость истечения газа из выходного сопла при полном расширении в 2 раза превышает скорость полета и 35% от введенного в двигатель тепла используется на приращение кинетической энергии газового потока проходящего через двигатель.

Задача 15

ТРД в полете у земли с числом M_H=0,9 развивает тягу 127,5 кН. Определить часовой, километровый и удельный расход топлива, если известно, что полный КПД = 20 %, рабочая теплотворность топлива H_u=43160 кДж/кг. Для решения задачи использовать формулу $Q = \frac{G_{т.ч} \cdot H_u}{3600 \cdot G_B}$.

Задача 16

Определить полный КПД в полете, если известны скорость полета равная 740 м/с, удельный расход топлива 0,225 кг/(Н·ч), H_u=43150 кДж/кг. Расширение газа в сопле полное; расходом топлива пренебречь.

Индивидуальное задание №2

Ответить на вопросы:

Вопрос 2.1

Определите назначение входных устройств ГТД.

Вопрос 2.2

Назовите параметры, характеризующие работу входных устройств, что оценивает каждый из этих параметров.

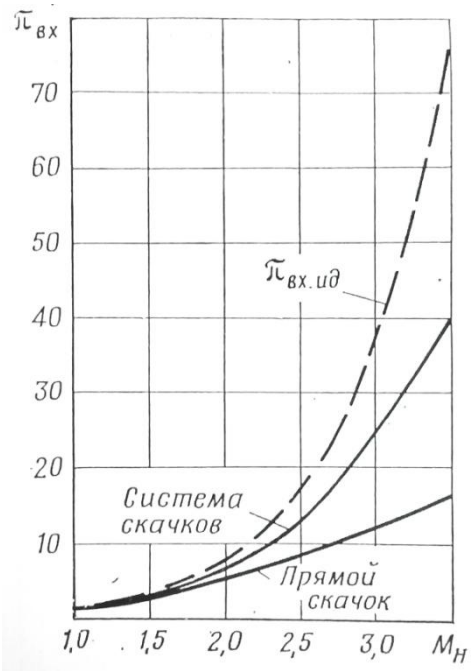
Вопрос 2.3

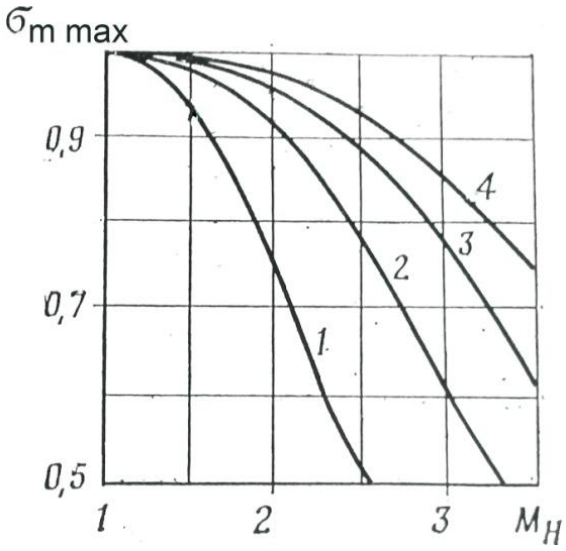
Назовите основные направления защиты авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.

Вопрос 2.4

Дайте определение входному устройству ГТД согласно ГОСТ а 23851-79

Вопрос 2.5
Нарисуйте характер изменения параметров потока в дозвуковом входном устройстве при $V > C_{\text{вх}}$.
Вопрос 2.6
Назовите основные особенности организации рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах.
Решить задачу:
Задача 2.1
Силовые установки обеспечивают полёт летательных аппаратов соответственно со скоростями 450 м/с, 680 м/с , 850 м/с. Используя рис 2.1.1 и 2.1.2 обосновать применение к каждой силовой установке определённого типа входного устройства. До каких значений $M_{\text{Н}}$ полёта используются дозвуковые воздухозаборники?





Индивидуальное задание №3

1 Приведите определение компрессора согласно ГОСТа-23851-79.

2 Назовите основные типы компрессоров. Укажите какой тип компрессоров используется в авиационных двигателях ПС-90А, ТВ7-117, ТА-6А, АИ-9В, ТВЗ- 117.

3 Назовите достоинства и недостатки:

а) ОК (Осевого компрессора)

б) ЦБК (центробежного компрессора)

4 Приведите определение ступени компрессора согласно ГОСТ-23851-79.

5 Назначение рабочего колеса, что из себя представляет РК.

6.Назначение направляющего аппарата, что из себя представляет НА.

7 Приведите основные параметры ступени, характеризующие основные данные и режимы работы ступени.

8 Приведите определение характеристикам ступени изображение характеристик ступени.

9 Определить работу элементарной ступени осевого компрессора с осевым входом и её кинематическую степень реактивности, если известны: $U = 260$ м/с, $\overline{\Delta c_u}$ =$\Delta C/u$ =0,5

10 Определить адиабатный КПД осевой ступени компрессора, если известны: $\pi_{ст}^* = 1{,}3$; $T_1^* = 288\,K$; $T_3^* = 313{,}5\,K$.

11 Определить степень повышения давления воздуха в компрессоре, если давление на входе в компрессор – $1{\cdot}10^5$ Па, а на выходе $25{\cdot}10^5$ Па. Объяснить смысл полученного результата.

12 Изобразите процесс сжатия воздуха в ступени осевого компрессора в *«p-v» «T-s»* координатах.

13 Быть готовым объяснить процесс сжатия воздуха в ступени с помощью обобщённого уравнения Бернулли.

Индивидуальное задание №4

1 Приведите основные параметры, характеризующие многоступенчатый осевой компрессор.

2 Доказать, что степень повышения давления воздуха в многоступенчатом осевом компрессоре равна произведению степени повышения давления воздуха в её отдельных ступенях.

3 Изобразите процесс сжатия воздуха в осевом компрессоре в *«p-v» «T-s»* координатах.

4 Степень повышения давления воздуха в компрессоре $\pi_к^* = 16$, адиабатный КПД $\eta_к^*$ = 0,86. Определить удельную работу сжатия $L_к$ и подогрев воздуха в компрессоре ΔT при стандартных атмосферных условиях на входе $(H = 0, V = 0)$.

5 Определить $\pi_к^*$компрессора, работающего на стенде при стандартных атмосферных условиях, если известны: $T_k^* = 650$ К,

$$\eta_к^* = 0{,}84.$$

6 Определить работу на валу компрессора L_k и адиабатный КПД $\eta_к^*$, если по результатам измерений известны: $p_k^* = 15 \cdot 10^5$Па, $t_k^* = 407$ °С

7 В восьмиступенчатом осевом компрессоре степени повышения давления одинаковы и равны 1,25. Определить работу компрессора, если КПД ступеней равен 0,9. Наружные условия стандартные.

8 Определить удельную адиабатную $L_{k\,ад}$ и политропную $L_{k\,пол}$ работы сжатия компрессора, если известны: $\pi_к = \frac{p_k}{p_в} = 10$, $T_в = 288\,K$и показатель политропы сжатия $n = 1{,}5$. Принять, что скорости на входе и на выходе из компрессора одинаковы.

9 Как определить КПД многоступенчатого компрессора, если известны КПД отдельных ступеней? Сравните между собой $\eta_к$ и $\eta_{ст}$.

10 Как влияют радиальные зазоры на основные параметры компрессора?

Характеристики осевого компрессора

1 Приведите определение характеристикам компрессора, изобразите их.

2 Определить приведённый секундный расход воздуха и приведённую частоту вращения ротора компрессора, если при температуре 30 ℃ и давлении 101340 Па, замеренные частота вращения ротора $n = 208\ c^{-1}$и расход воздуха 110 кг/с.

3 Определить секундный расход воздуха и частоту вращения ротора компрессора при давлении $p^*_{\text{зам}} = 98666$ Па (770 мм.рт.ст.) и температуре $T^*_{\text{зам}} = 295\ K$, если превышенный расход воздуха $G_{\text{В пр}}$= 63 кг/с и приведённая частота вращения ротора компрессора $n_{\text{пр}}$ =183,3 с$^{-1}$.

4 По условиям задачи 2 вычислить значения $n_{\text{пр}}$и $G_{\text{В пр}}$ для разных значений температуры: -30 ℃, 0 ℃, 30 ℃, 60 ℃. Результаты вычислений занести в таблицу 1 и сделать вывод о влиянии температуры на $G_{\text{В пр}}$и $n_{\text{пр}}$.

Таблица 1

Влияние температуры $T_{\text{Н}}$ на $G_{\text{В пр}}$ и $n_{\text{пр}}$

$T_{\text{Н}}$	-30 ℃	0 ℃	30 ℃	60 ℃
$n_{\text{пр}}$				
$G_{\text{В пр}}$				

- С какой целью в современных ГТД осуществляется регулирование компрессоров?
- Назовите основные способы регулирования компрессоров.
- Назовите признаки возникновения помпажа.
- К каким последствиям может привести помпаж?

Применяемы схемы многоступенчатых осевых компрессоров, и их анализ.На каких ступенях осевых компрессоров может возникнуть «помпаж»

а) при уменьшении частоты вращения ротора;

б) при уменьшении расхода воздуха, если n = *const*.Компрессор работает в системе ТРД.

Индивидуальное задание № 5

Ответить на вопросы:

1 Приведите определение камеры сгорания согласно ГОСТа-23851-79.

2 Назовите основные закономерности процесса горения топлива.

3 Назовите типы основных камер сгорания ГТД. Назовите их достоинства и недостатки.

4 Назовите основные принципы организации процесса горения в основных камерах сгорания ГТД.

5 Проанализируйте, как влияет на значение условной средней теплоёмкости (C_n) процесса подвода теплоты в основных камерах сгорания ГТД значения $T_к^*$ и $T_г^*$. Для ответа используйте рис. 1.10 методических указаний по выполнению курсового проекта.

Решить задачи:

1 Определить коэффициент избытка воздуха для ГТД, на котором расход воздуха составляет 60 кг/с, а расход топлива – 0,8 кг/с. Применяемое топливо – авиационный керосин. По значению коэффициента избытка воздуха определить, какая ТВС используется в процессе горения в ГТД.

2 Пи полном сгорании 1 кг топлива в камере сгорания ГТД выделяется 44000 кДж теплоты. Определить количество теплоты, которое выделяется в камере сгорания в единицу времени при сгорании 1 кг топлива, если коэффициент сгорания топлива в современных ГТД составляет 0,97…0,99.

3 В ГТД с высоконапорным компрессором со степенью повышения давления воздуха равной 12,8, давление воздуха на входе в компрессор составляет 94,232 кПа, а на выходе из камеры сгорания 1158 кПа. Определить коэффициент восстановления полного давления. Что характеризует эта величина и соответствует ли полученное значение требованиям предъявляемым к камерам сгорания современных ГТД.

4 Определить коэффициент полноты сгорания в камере сгорания ГТД, если известны: $T_г^* = 1450\ K$, $T_к^* = 757\ K$, $G_B = 110$ кг/с, $G_т = 2{,}35$ кг/с, $H_u = 43100$ кДж/кг.

5 Определить коэффициент избытка воздуха в камере сгорания ГТД, если известны: $T_г^* = 1450\ K$, $T_к^* = 757K$, $H_u = 43100$ кДж/кг.

6 Определить высшую теплотворность авиационного керосина, если при сгорании 1 кг керосина с низшей теплотворностью 43000 кДж/кг образуется 1,35 кг воды.

Индивидуальное задание № 6.

1 Приведите определение турбины ГТД согласно ГОСТа-23851-79.

2 Приведите определение ступени турбины согласно ГОСТа-23581-79.

3 Что из себя представляет сопловый аппарат турбины, для чего он предназначен?

4 Что из себя представляет рабочее колесо ступени турбины, для чего оно предназначено.

5 По данным величинам и направлениям осевой скорости c_1 газа на входе в ступень и окружной скорости рабочего колеса U построить:

- плоскую решётку профилей ступени газовой турбины;
- треугольники скоростей в ступени.

6 Определить степень понижения давления в ступени турбины, если давление газа в ней уменьшается от 1158 кПа до 579 кПа. Объяснить смысл полученного результата.

7 Определить степень реактивности турбины, если адиабатная работа расширения газа в рабочем колесе равна 360 кДж/кг, а адиабатная работа расширения во всей ступени 900 кДж/кг. Объяснить смысл полученного результата.

8 Доказать, что степень понижения давления газа во многоступенчатой турбине равна произведению степени понижения давления газа в её отдельных ступенях.

9 Определить КПД турбины, если работа турбины равна 360 кДж/кг, а адиабатная работа турбины, определённая по параметрам заторможенного потока газа – 450 кДж/кг. Удовлетворяет ли данная многоступенчатая турбина по значению КПД требованиям, предъявляемым к газовым турбинам?

10 Вычислить значение работы турбины, если температура в полных параметрах уменьшается в ней от 4350 К до 600 К. Принять $k_г$ = 1,33; $R_г$ = 288 Дж/(кг·К); $C_{pг}$ = 1160,7 Дж/(кг·К).

11 Вычислить мощность, развиваемую турбиной ГТД, при полёте ЛА со скоростью, соответствующей числу $M_н$ = 0,8 на высоте 5 км, если расход воздуха через двигатель 150 кг/с, а работа турбины 380 кДж/кг.

12 Давление газов на входе в четырёхступенчатую турбину равно $4{,}8 \cdot 10^5$ Па, а на выходе из третьей ступени давление уменьшилось до $1{,}2 \cdot 10^5$ Па. Степень понижения давления газов в четвёртой ступени равна 1,2. Определить степень понижения давления газов во всей турбине и давления газов на выходе из турбины. Выполните схему четырёхступенчатой турбины.

13 В ГТД газ на входе во многоступенчатую турбину имеет параметры: температура 1500 К, удельный объём 0,8 м^3/кг. Газ, совершая работу в турбине, уменьшил своё давление до $0{,}9 \cdot 10^5$ Па. Определить степень понижения давления газа в турбине.

14 Многоступенчатая турбина имеет степень понижения давления 6,9. Температура газов перед турбиной 1350 К, расход воздуха 110 кг/с. Определить адиабатную, политропную работы расширения 1 кг газа в турбине, работу на валу турбины, КПД и мощность турбины. Сравнить величины всех видов полученных работ, объяснить полученные результаты с физической точки зрения. Для решения задачи принять: $k_г$ = 1,33; $H_г$ = 1,27; $R_г$ = 288 Дж/(кг·К)

15 По данным таблиц 1, 2 вычислить значение работы полученной на валу турбины и мощности развиваемой турбиной. По результатам вычислений сделать выводы: какие факторы позволяют увеличить значения работы и мощности.

Таблица 1

Влияние степени понижения давления газов в турбине на работу и мощность турбины

$\pi_т^*$	4,5	5	6	7
L_T, Дж/кг				
N_T, кВт				

Таблица 2

Влияние температуры газов перед турбиной на работу и мощность турбины

$T_г^*$, К	1350	1400	1500	1700
L_T, Дж/кг				
N_T, кВт				

Индивидуальное задание № 7.

1 Приведите определение выходного устройства ГТД согласно ГОСТа-23851-79.

2 Назовите основные параметры выходных устройств. Что они характеризуют?

3. Устройства реверса тяги: назначение, типы.

4 Назовите параметр, характеризующий эффективность реверсивного устройства.

5 Самолёт поднимается на высоту 10 км. Определить располагаемую степень понижения давления на высотах: 0, 3, 5, 8, 11 км. Результаты вычислений свести в таблицу. Сделать вывод о зависимости $\pi_{с.р.}$ от давления окружающей среды. Считать полное давление перед соплом постоянным и равным 450 кПа.

6 Определить адиабатную и действительную скорость истечения газа из реактивного сопла, если известно, что давление на входе в сопло равно 336 кПа, а на выходе из сопла 101 кПа, а температура на входе равна 1050 К.

7 В выходном устройстве ГТД используется регулируемое реактивное сопло. Доказать (обосновать), что при открытии створок сопла $T_г^*$ уменьшается.

8 Назовите основные реактивные сопла, которые используются в конструкции ГТД.

9 В выходном устройстве какого ГТД имеются смеситель камеры смещения, камера смешения, где они расположены и для чего они предназначены?

Типовые расчетные задачи для проведения текущего контроля успеваемости

Задача №1

Построить графики изменения давления воздуха и температуры воздуха в зависимости от изменения высоты. Значение давления по высоте и температуры по высоте взять из таблицы МСА.

По полученным графикам сделать вывод.

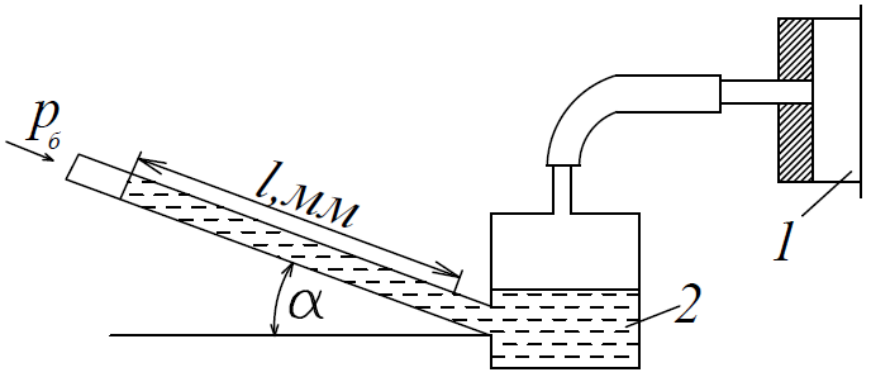
H, км	0	2	4	6	8	10	11,5	12	14	16	18	20
p, Па												
T, К												

Задача №2

Для измерения малых избыточных давлений или небольших разряжений применяются микроманометры. Принципиальная схема прибора представлена на рис.1.1.

Определить абсолютное давление в воздухопроводе 1, если длина *l* столба жидкости в трубке микроманометра 2, наклонённой под углом α=30º, равна 180мм.

Рабочая жидкость – спирт плотностью ρ=0,8 г/$см^3$. Показание барометра 0,1020 МПа. Давление выразить в Паскалях, Мегапаскалях, мм.рт.ст. и в килограмм-силах на квадратный сантиметр.



Задача №3

Газ, состояние которого определяется на “*p – v*” диаграмме (рис. 2.1) точкой *1*, переводится в состояние *2* по пути *1c2*. При этом к газу подводится 80 кДж энергии в виде теплоты и от газа получается 30 кДж работы . Затем этот же газ возвращается в исходное состояние в процессе, который описывается кривой *2a1*.

Сколько энергии в виде теплоты нужно подвести в некотором другом процессе *1d2*, чтобы от газа получить 10 кДж работы? Сколько нужно подвести или отвести теплоты в процессе *2a1*, если на сжатие расходуется 50 кДж энергии в форме работы?

Задача№4

Давление водяных паров в воздухе комнаты равно 2 кПа. Сколько содержится водяного пара в комнате? Площадь комнаты 25 м^2, высота 3 м, температура воздуха 25 ºС . Молекулярная масса водяного пара μ_{H_2O} = 18,014 кг/кмоль

Задача №5

В лабораторных условиях клинообразное тело обтекается потоком со скоростью, соответствующей числу Маха = 1,5. Возникший при этом косой

скачок уплотнения и вектор скорости потока образуют угол α = 45°. Известно, что нормально составляющая скорости потока за скачком уплотнения уменьшается в два раза. Определить скорость потока за скачком. Останется ли поток сверхзвуковым и на какой угол повернется поток после скачка, по сравнению с первоначальным направлением?

Типовые ситуационные задачи для проведения текущего контроля успеваемости

Задача №1
КПД электрических машин не опускается ниже 85 % и поднимается к теоретически разрешённому первым законом термодинамики (100 %),а КПД тепловых машин не поднимается выше 40 – 45 % Почему? С чем связаны эти проблемы? Аргументируйте свой ответ.

Задача №2
Проведите анализ тенденций развития современных тепловых машин на основе теоремы Карно. Аргументируйте свой ответ.

Задача №3
Почему невозможно спроектировать двигатель или проанализировать работу отдельных узлов силовой установки летательного аппарата не зная закономерностей течения газового потока, не владея законами и методами газовой динамики? Аргументируйте свой ответ.

Задача №4
Проведите анализ тенденций развития современных методов тепловой защиты элементов конструкции авиационных двигателей. Приведите примеры использования методов защиты на Российской и зарубежной технике.

Типовые расчетные задачи для проведения текущего контроля

Задача 1
ТРД в полёте у земли с числом Мн = 0,9 развивает тягу 127,5 кН. Определить часовой, километровый и удельный расход топлива, если известно, что полный КПД равен 20 %, рабочая теплотворность топлива Hu = 43160 кДж/кг. Для решения задачи использовать формулу Q0 = Gт.ч Hu / 3600 Gв.

Задача 2
Определить πк∗ компрессора, работающего на стенде при стандартных атмосферных условиях, если известны: ΔТk∗=650 К, ηк∗ = 0,84.

Типовые ситуационные задачи для проведения текущего контроля

Задача 1
С использованием какого параметра входного устройства, можно обосновать применение дозвукового входного устройства для полётов самолётов со

сверхзвуковыми скоростями, соответствующими числу Маха равными 1,3… 1,4? Аргументируйте свой ответ.

Задача 2

По каким-то причинам при уменьшении частоты вращения не сработал клапан перепуска воздуха из проточной части компрессора в наружный контур. К каким последствиям может привести данное событие?

Типовые расчетные задачи для проведения промежуточной аттестации

Задача 1

Определить коэффициент полноты сгорания для основной камеры сгорания ГТД, если известны: Tг$*$ =1450 К, Tк$*$=670 К, GB=100 кг/с, Gт=2,35 кгс, Hu=43100 кДж/кг. Соответствует ли полученное значение коэффициента полноты сгорания топлива требованиям, предъявляемым к камерам сгорания современных ГТД?

Задача 2

Многоступенчатая турбина имеет степень понижения давления 6,9. Температура газов перед турбиной 1350 К, расход воздуха 110 кг/с. Определить адиабатную, политропную работы расширения 1 кг газа в турбине, работу на валу турбины, КПД и мощность турбины. Сравнить величины всех видов полученных работ, объяснить полученные результаты с физической точки зрения. Для решения задачи принять: kг = 1,33; nг = 1,27; Rг = 288 Дж/(кг·К).

Типовые ситуационные задачи для проведения промежуточной аттестации

Задача 1

К каким последствиям может привести резкое повышение температуры воздуха на входе в двигатель? Как изменится положение рабочей точки на характеристике компрессора и запас устойчивости компрессора? Аргументируйте своё решение с применением соответствующего математического аппарата.

Задача 2

В целях обеспечения высоких лётно-тактических данных вертолёта в широком диапазоне высотно-климатических условий на многоцелевых вертолётах применяются переразмеренные двигатели. Что означает понятие переразмеренные двигатели?

Примерная контрольная работа

Задача 1.

Число Маха в сечении потока равно 0,6. Определить, скорость воздуха в этом сечении, если температура его 284 К.

Задача 2

Летательный аппарат совершает полёт со скоростью 800 км/ч. Определить расход воздуха через входное устройство, если известны, что диаметр входного устройства равен 0,5 м, плотность воздуха в этом сечении составляет 1,5 кг/м^3, а скорость потока составляет $0{,}7 \cdot V_н$.

Задача 3

Как изменится режим работы сопла, если давление на выходе из сопла понизить до $p_с = 13{,}227 \cdot 10^5$ Па? Определите параметры воздуха и величину скорости на выходе из сопла.

Примерная контрольная работа

1) Дайте определение газовой турбины согласно ГОСТу 23581-79.
2) Изобразите рабочий процесс в ступени турбины и его иллюстрацию в «*p-v*» и «*T-s*» координатах.
3) Задача: Определить тягу ТРДД на земле в стандартных условиях, если известно, что: $L_{ц1}$ = 400 кДж/кг, m = 8, η_{II} = 0,9, расход воздуха через внутренний контур 80 кг/с, а распределение энергии между контурами оптимальное.
4) Задача: Определить работу цикла и удельную тягу ТРД в полёте самолёта на высоте 11 км, с числом $М_н$=1,8, если известны: π_Σ = 30; $T_г^*$=1500 К; η_p=0,92; η_c=0,84; $\overline{m}$ = 1,05.
5) Доказать, что степень повышения давления воздуха в многоступенчатом осевом компрессоре равна произведению степени повышения давления воздуха в её отдельных ступенях.

Пример экзаменационного билета, включающего теоретический вопрос, расчётную и ситуационную задачу

1 Сущность первого закона термодинамики. Аналитическое выражение первого закона термодинамики.

2 Работа дозвукового сопла на расчётном режиме

3 В результате сжатия воздуха в компрессоре ГТД давление увеличилось до $15*10^5$ Па, а температура до 480 К. Определить плотность воздуха на выходе из компрессора.

Примерный перечень вопросов для промежуточной аттестации:

5 семестр

52 Назначение, схемы входных устройств ГТД. Требования, предъявляемые к входным устройствам. Основные технические показатели (параметры) входных устройств.

53 Устройство дозвукового воздухозаборника. Организация рабочего процесса при его работе на земле (V = 0).

54 Организация рабочего процесса в дозвуковом устройстве при его работе в полете ($V > C_{вх}$). Влияние условий полета на скоростную степень повышения давления.

55 Организация рабочего процесса в сверхзвуковых входных устройствах на расчетном режиме.
56 Нерасчетные режимы работы сверхзвуковых входных устройств. Задачи и способы регулирования СВУ.
57 Защита авиационных ГТД от попадания в них посторонних предметов.
58 Назначение компрессора, типы компрессоров, требования, предъявляемые к компрессорам.
59 Схема и принцип работы ступени осевого компрессора. Изменение параметров рабочего тела в ступени осевого компрессора.
60 Схема и принцип работы ступени ОК с ВНА. Изменение параметров рабочего тела в ступени ОК с ВНА.
61 Особенности сверхзвуковой ступени осевого компрессора.
62 Понятие о профилировании лопаток осевого компрессора.
63 Многоступенчатые компрессоры, необходимость их применения. Основные параметры многоступенчатых компрессоров и их связь с параметрами ступени. Многокаскадные компрессоры.
64 Характеристики компрессора, определение, методы получения, графическое изображение, анализ.
65 Характеристики компрессора в параметрах подобия.
66 Расчетные и нерасчетные режимы работы компрессора.
67 Неустойчивая работа осевого компрессора. Виды неустойчивой работы.
68 Линия рабочих режимов (ЛРР) и запас устойчивости компрессора в системе ГТД.
69 Задачи и способы регулирования осевых компрессоров.
70 Регулирование компрессора перепуском воздуха над рабочими лопатками первых ступеней и из отдельных ступеней компрессора.
71 Регулирование компрессоров поворотом лопаток направляющих аппаратов его отдельных ступеней.
72 Регулирование компрессоров применением многокаскадных компрессоров.
73 Влияние условий эксплуатации на характеристику и запас устойчивости компрессора.
74 Схема и принцип работы центробежного компрессора.
75 Камеры сгорания ГТД, назначение, требования, предъявляемые к ним. Основные типы камер сгорания. Параметры камер сгорания.
76 Организация процесса горения в основных камерах сгорания ГТД.
77 Назначение, основные параметры, требования, предъявляемые к газовым турбинам. Типы турбин.
78 Схема и принцип работы ступени газовой турбины. Изменения параметров газа в ступени турбины.
79 Необходимость применения многоступенчатых турбин. Формы проточной части турбин.
80 КПД турбины, их анализ. Потери в ступени турбины.
81 Системы и способы охлаждения лопаток газовых турбин. Эффективность различных способов воздушного охлаждения.

82 Выходные устройства ГТД, назначения, схемы, основные параметры, характеризующие работу входного устройства.

83 Реверс тяги. Требования, предъявляемые к реверсивным устройствам. Схемы реверсивных устройств.

6 семестр

33 Основные параметры ГТД. Вывод формулы тяги ВРД.

34 Энергетический баланс и КПД ГТД.

35 Действительный цикл ГТД. Работа цикла ГТД. Параметры рабочего процесса.

36 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени повышения давления воздуха. Оптимальная степень повышения давления.

37 Зависимость работы цикла и удельной тяги от степени подогрева воздуха.

38 Зависимость удельного расхода топлива от степени подогрева воздуха. Экономическая степень повышения давления воздуха.

39 Условия совместных режимов работы функциональных элементов ГТД.

40 Совместная работа элементов одновального газогенератора (ОК, КС, ГТ). Линия рабочих режимов.

41 Программы и законы управления ТРД. Управляемые параметры. Управляющие факторы. Основные виды программ, реализуемые средствами автоматики.

42 Законы управления двухвальным газогенератором. Реализация основных законов управления.

43 Влияние параметров рабочего процесса на КПД ТРД.

44 Режимы работы ГТД. Дроссельные характеристики ТРД.

45 Высотные характеристики ТРД.

46 Скоростные характеристики ТРД.

47 ТРДД, основные схемы и принцип работы. Распределение суммарной тяги между конкурентами ТРДД.

48 Работы цикла ТРДД и без смешения потоков. Оптимальное распределение энергии в ТРДД.

49 Основные параметры ТРДД и параметры рабочего процесса.

50 Особенности характеристик ТРДД.

51 Схема, принцип работы и основные параметры турбовальных двигателей (ТВаД).

52 Эксплуатационные характеристики ТВаД.

53 Особенности законов управления и совместной работы ТВаД со свободной турбиной и несущего винта (НВ) вертолета.

54 Схемы, принцип работы и основные параметры ТВД.

55 КПД ТВД. Оптимальное распределение энергии (работы цикла) между винтом и реакцией струи.

56 Особенности управления и совместной работы элементов ТВД.

57 Особенности эксплуатационных характеристик ТВД.

58 Форсирование ГТД. Методы форсирования.

59 Организация процесса горения в форсажных камерах сгорания ГТД.

60 Требования к динамическим характеристикам ГТД. Уравнения динамики на переходных режимах.

61 Запуск ГТД. Работа ГТД на переходных режимах.

62 Эксплуатационные ограничения режимов работы ГТД.

63 Источники шума ГТД, формирование уровня шума по местности.

64 Эмиссия авиационных ГТД. Виды эмиссии. Методы нормирования эмиссий.

65 Влияния давления, температуры и влажности воздуха на параметры и характеристики ГТД.

66 Приведение данных испытаний ГТД к стандартным атмосферным условиям.

67 Влияние эрозийного износа и загрязнения элементов проточной части на параметры и характеристики ГТД в условиях эксплуатации на пыльных аэродромах.

10 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Методика преподавания дисциплины «Термодинамика и теория авиационных двигателей» характеризуется совокупностью методов, приемов и средств обучения, обеспечивающих реализацию содержания и учебных целей дисциплины, которая может быть представлена как некоторая методическая система, включающая методы, приемы и средства обучения. Такой подход позволяет более качественно подойти к вопросу освоения дисциплины обучающимися.

Лекции являются одним из важнейших видов учебных занятий и составляют основу теоретической подготовки обучающихся по дисциплинам. Лекция имеет целью дать систематизированные основы научных знаний по дисциплине, раскрыть состояние и перспективы прогресса конкретной области науки, сконцентрировать внимание на наиболее сложных и узловых вопросах. Эта цель определяет дидактическое назначение лекции, которое заключается в том, чтобы ознакомить обучающихся с основным содержанием, категориями, принципами и закономерностями изучаемой темы и предмета обучения в целом, его главными идеями и направлениями развития. Именно на лекции формируется научное мировоззрение обучающегося, закладываются теоретические основы фундаментальных знаний будущего управленца, стимулируется его активная познавательная деятельность.

Каждая лекция представляет собой устное изложение лектором основных теоретических положений изучаемой дисциплины или отдельной темы, как логически законченное целое и имеет конкретную целевую установку. Лекция показывает перспективы развития изучаемой области знаний, навыков и практических умений.

Текущий опрос успеваемости обучающихся применяется для оценки уровня остаточных знаний путём проведения опроса с письменным ответом.

Практические занятия проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков. Основным содержанием этих занятий является практическая работа каждого обучающегося. Назначение практических занятий – закрепление, углубление и комплексное применение на практике теоретических знаний, выработка умений и навыков обучающихся в решении практических заданий. Вместе с тем, на этих занятиях, осуществляется активное формирование и развитие навыков и качеств, необходимых для последующей профессиональной деятельности. Практические занятия проводятся по наиболее сложным вопросам дисциплины и имеют целью углубленно изучить ее содержание, привить обучающимся навыки самостоятельного поиска и анализа информации, умение делать обоснованные выводы, аргументировано излагать и отстаивать свое мнение. Также в качестве элемента практической подготовки применяется разбор конкретной ситуации. Каждое практическое занятие заканчивается, как правило, кратким подведением итогов, указаниями преподавателя о последующей самостоятельной работе.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется для оценки уровня остаточных знаний путём проведения текущих опросов, решения расчетных и ситуационных задач, защиты индивидуальных домашних заданий.

В современных условиях перед студентом стоит важная задача – научиться работать с массивами информации. Обучающимся необходимо развивать в себе способность и потребность использовать доступные информационные возможности и ресурсы для поиска нового знания и его распространения. Обучающимся необходимо научиться управлять своей познавательной деятельностью в системе «информация – знание – информация». Прежде всего, для достижения этой цели, в вузе организуется самостоятельная работа обучающихся. Кроме того, современное обучение предполагает, что существенную часть времени в освоении учебной дисциплины обучающийся проводит самостоятельно. Принято считать, что такой метод обучения должен способствовать творческому овладению обучающимися специальными знаниями и навыками.

Самостоятельная работа обучающегося весьма многообразна и содержательна. Она включает следующие виды занятий: самостоятельный поиск, анализ информации и проработка учебного материала; подготовку к устному опросу; решению расчётных и ситуационных задач, подготовку к контрольной работе; выполнение курсового проекта.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде экзамена в 1 семестре и зачета с оценкой во 2. К моменту зачета с оценкой и экзамена должны быть успешно пройдены предыдущие формы контроля. Зачет с оценкой и экзамен позволяют оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры №24 «Авиационной техники и диагностики» «4» ноября 2023 года, протокол № 4.

Разработчик:
к.т.н., доцент Стенькин А.Н.
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчика)

Заведующий кафедрой № 24 «Авиационной техники и диагностики»
к.т.н., доцент Петрова Т.В.
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)

Программа согласована:
Руководитель ОПОП
к.т.н., доцент Петрова Т.В.
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы руководителя ОПОП)

Программа рассмотрена и согласована на заседании Учебно-методического совета Университета «22» 11 20 23 года, протокол № 3.