

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
(МИНТРАНС РОССИИ)  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)  
ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»  
(ФГБОУ ВО СПбГУ ГА)

УТВЕРЖДАЮ



Первый  
проректор-проректор  
по учебной работе  
Н.Н.Сухих

2017 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Техническая термодинамика и теплопередача**

Направление подготовки

**25.03.01 Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей**

Направленность программы (профиль)

**Техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных  
двигателей**

Квалификация выпускника

**бакалавр**

Форма обучения

**очная**

Санкт-Петербург

2017

## 1 Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» являются - формирование знаний, умений, навыков на основе развития способности к самореализации и самообразованию, для успешной профессиональной деятельности выпускников в области основных понятий физических процессов взаимного преобразования тепловой и механической энергии в тепловых двигателях, владение способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки знаний по применению основных уравнений технической термодинамики, газовой динамики и теплопередачи для описания физической сущности изучаемых термодинамических процессов; формирование навыков решения стандартных задач производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий по поиску данных для решения стандартных задач, а также с учетом основных требований информационной безопасности; формирование уровня знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи; приобретение навыков работы с математическим аппаратом термодинамики, представляющим собой совокупность математических моделей рассматриваемых явлений; формирование умений в проведении комплекса плано-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи; овладение методами проведения экспериментов, навыками обобщения полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным(техническим) оборудованием, измерительными приборами, вычислительной техникой; формирование навыков оценивания процессов, протекающих в системах воздушных судов и элементах авиационных двигателей.

Задачами освоения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» являются:

- овладение основными понятиями и определениями термодинамики: термодинамическая система (ТДС), внешняя (окружающая) среда, рабочее тело, источники теплоты и работы, закрытые и открытые ТДС;
- изучение основных законов термодинамики превращения энергии и процессов, посредством которых эти превращения осуществляются, направлений совершенствования тепловых двигателей;
- формирование навыков работы с математическим аппаратом термодинамики, представляющим собой совокупность математических

моделей рассматриваемых явлений, в которых заложены основные предпосылки, определяющие их ход и развитие;

- формирование умений производить расчёты по вычислению параметров рабочего тела термодинамической системы;

- формирование навыков решения стандартных задач производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий по поиску данных для решения стандартных задач, а также с учетом основных требований информационной безопасности;

- формирование умений, приобретения навыков в решении задач «Технической термодинамики и теплопередачи», развитие у студентов самостоятельности, уверенности в выборе форм и методов решения задач, умения анализировать полученные результаты;

- обучение 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 мер и правил безопасности;

- формирование уровня знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи; приобретение навыков работы с математическим аппаратом термодинамики, представляющим собой совокупность математических моделей рассматриваемых явлений;

- формирование умений в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи;

- овладение методами проведения экспериментов, навыками обобщения полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным(техническим) оборудованием, измерительными приборами, вычислительной техникой;

- формирование навыков оценивания процессов, протекающих в системах воздушных судов и элементах авиационных двигателей.

- формирование у студентов прочной теоретической базы, позволяющей авиационному специалисту принимать правильные и грамотные решения по диагностике, летной и технической эксплуатации авиационных силовых установок при условии обеспечения летной годности воздушных судов и безопасности полетов.

Дисциплина обеспечивает подготовку выпускника к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности.

## 2 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Техническая термодинамика и теплопередача» представляет собой дисциплину, относящуюся к Вариативной части Блока 1 дисциплин ОПОП ВО по направлению подготовки 25.03.01 «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей» (бакалавриат), профиль «Техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных двигателей».

Данная дисциплина базируется на результатах обучения, полученных при изучении дисциплин: Базовой части: «Высшая математика», «Информатика и информационные технологии», «Физика», «Теоретическая механика».

Дисциплина «Техническая термодинамика и теплопередача» является обеспечивающей для дисциплин: «Теория авиационных двигателей», «Конструкция и прочность авиационных двигателей», «Конструкция и техническое обслуживание воздушных судов», «Конструкция и техническое обслуживание авиационных двигателей».

Дисциплина изучается в 5 и 6 семестрах.

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс освоения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» направлен на формирование следующих компетенций:

Перечень и код компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
Способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-5).	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- методы и приемы самоорганизации в получении и систематизации знаний; методику самообразования, касающуюся технической термодинамики и теплопередачи;</li><li>- что методы технической термодинамики позволяют анализировать газовые потоки, объясняют закономерности протекания физических процессов в ГТД, пути их совершенствования.</li></ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для проведения анализа сущности преобразования энергии, которые происходят в движущемся газовом</li></ul>

Перечень и код компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
	<p>потоке касающихся технической термодинамики и теплопередачи.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологиями организации процесса самообразования, способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки знаний по применению основных уравнений технической термодинамики, газовой динамики и теплопередачи для описания физической сущности изучаемых термодинамических процессов.</li> </ul>
<p>Способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности (ОПК-1).</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- как решать стандартные задачи производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности.</li> <li>- свойства и параметры газа, как рабочего тела;</li> <li>- последовательность и объём расчёта термодинамических процессов;</li> <li>- особенности термодинамического метода исследования идеальных циклов тепловых двигателей.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- решать стандартные задачи производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности;</li> <li>- определять параметры рабочего тела в характерных точках цикла ГТД, пути повышения энергетической эффективности ГТД.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками решения стандартных задач производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных</li> </ul>

Перечень и код компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
	<p>аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий по поиску данных для решения стандартных задач, а также с учетом основных требований информационной безопасности.</p>
<p>Способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-2)</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- о представлении адекватной современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи;</li> <li>- основные законы термодинамики, методы расчёта теплообменных аппаратов, методы тепловой защиты элементов авиационной техники.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- адекватное представление современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- представлением адекватной современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи;</li> <li>- навыками уверенности в выборе форм и методов решения задач в ходе профессиональной деятельности, умения анализировать полученные результаты.</li> </ul>
<p>Способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- как выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выявлять естественнонаучную сущность проблем,</li> </ul>

Перечень и код компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-3).	<p>возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи для анализа возникающих проблем, привлекать соответствующий физико-математический аппарат.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат;</li> <li>- навыками работы с математическим аппаратом термодинамики, представляющим собой совокупность математических моделей рассматриваемых явлений.</li> </ul>
Способностью участвовать в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению (ПК-17)	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- процедуру проведения комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить комплекс планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи.</li> <li>- применять законы термодинамики и основные уравнения газовой динамики для анализа газовых потоков, протекающих в ГТД в обеспечении исправности и работоспособности авиационной техники.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью участвовать в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности</li> </ul>

Перечень и код компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
	<p>объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи;</p> <p>- методами проведения экспериментов, навыками обобщения полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным(техническим) оборудованием, измерительными приборами, вычислительной техникой;</p> <p>- методами оценивания процессов, протекающих в системах воздушных судов и элементах авиационных двигателей.</p>

#### 4 Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 академических часов.

Наименование	Всего часов	Семестры	
		5	6
Общая трудоемкость дисциплины	216	108	108
Контактная работа	118	70	48
лекции	44	28	16
практические занятия	56	36	20
семинары	-	-	-
лабораторные работы	14	6	8
курсовой проект (работа)	4	-	4
Самостоятельная работа студента	53	29	24
Промежуточная аттестация	45	9	36

#### 5 Содержание дисциплины

##### 5.1 Соотнесения тем дисциплины и формируемых компетенций

Темы, Разделы, Дисциплины	Количество часов	Компетенции					Образовательные технологии	Оценочные средства
		ОК-5	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ПК-17		
5 семестр								



Темы, Разделы, Дисциплины	Количество часов	Компетенции					Образовательные технологии	Оценочные средства
		ОК-5	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ПК-17		
Раздел 1. Техническая термодинамика	99							
Тема 1. Газ как рабочее тело термодинамической системы	16	+		+	+		Л,ПЗ,ЛР, СРС,ВК	ИДЗ
Тема 2. Первый закон термодинамики	15	+		+	+	+	Л. ПЗ, СРС	ИДЗ
Тема 3. Термодинамические процессы	28		+	+	+	+	Л,ПЗ,ЛР, СРС	ИДЗ, ТО
Тема 4. Второй закон термодинамики	17	+	+	+	+	+	Л,ПЗ,СРС	ТО
Тема 5. Идеальные циклы тепловых двигателей	23		+	+	+	+	Л, ПЗ, РГР, СРС	ТО
Итого за 5 семестр	99							
6 семестр								
Раздел 2. Основы газовой динамики	46							

Темы, Разделы, Дисциплины	Количество часов	Компетенции					Образовательные технологии	Оценочные средства
		ОК-5	ОПК-1	ОПК-2	ОПК-3	ПК-17		
Тема 6. Свойства движущегося газа	8				+	+	Л, ПЗ, СРС	ИДЗ
Тема 7. Основные уравнения газовой динамики	14			+	+	+	Л, ПЗ, СРС	ИДЗ, ТО
Тема 8. Термодинамика газового потока	24		+		+		Л, ПЗ, ЛР, СРС	ИДЗ,ТО
Раздел 3. Теплопередача	26							
Тема 9. Основные положения. Теплопроводность тел при стационарном режиме. Теплообмен конвекцией. Конвективный теплообмен	11	+		+			Л, ПЗ, СРС	ТО
Тема 10. Теплообмен излучением. теплообменные аппараты, методы тепловой защиты	15		+			+	Л, СРС ПЗ, ЛР, РС	ИДЗ
Итого за 6 семестр	72							
Итого за 5 и 6 семестры	180							
Промежуточная аттестация	45							
Всего по дисциплине	216							

**Сокращения:** Л – лекция, ПЗ – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа, ТО – текущий опрос, ВК – входной контроль, ИДЗ – индивидуальное домашнее задание, СРС – самостоятельная работа студента

## 5.2 Темы дисциплины и виды занятий

Наименование темы дисциплины	Л	ПЗ	С	ЛР	КП	СРС	Всего часов
5 семестр							
Раздел 1. Техническая термодинамика	28	36	-	6	-	29	99
Тема 1. Газ как рабочее тело термодинамической системы	4	6	-	2	-	4	16
Тема 2. Первый закон термодинамики	4	6	-	-	-	5	15
Тема 3. Термодинамические процессы	8	10	-	4	-	6	28
Тема 4. Второй закон термодинамики	4	6	-	-	-	7	17
Тема 5. Идеальные циклы тепловых двигателей	8	8	-	-	-	7	23
Итого за 5 семестр	28	36	-	6	-	29	99
Промежуточная аттестация за 5 семестр							9
Всего за 5 семестр							108
6 семестр							
Раздел 2. Основы газовой динамики	8	16	-	4	4	14	46
Тема 6. Свойства движущегося газа	2	2	-	-	-	4	8
Тема 7. Основные уравнения газовой динамики	2	6	-	-	2	4	14
Тема 8. Термодинамика газового потока	4	8	-	4	2	6	24
Раздел 3. Теплопередача	8	4	-	4	-	10	26
Тема 9. Основные положения. Теплопроводность тел при стационарном режиме. Теплообмен конвекцией. Конвективный теплообмен	4	2	-	-	-	5	11
Тема 10. Теплообмен излучением, теплообменные аппараты, методы тепловой защиты	4	2	-	4	-	5	15
Итого за 6 семестр	16	20	-	8	4	24	72
Промежуточная аттестация за 6 семестр							36
Всего за 6 семестр							108

Всего по дисциплине	44	56	-	14	4	62	216
---------------------	----	----	---	----	---	----	-----

### 5.3 Содержание дисциплины

#### Раздел I. Техническая термодинамика

##### Тема 1. Газ, как рабочее тело термодинамической системы

Введение. Учебная Дисциплина «Термодинамика и теплопередача», цель её изучения, место и значение в системе подготовки высококвалифицированных авиационных инженеров. 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.

##### Тема 2. Первый закон термодинамики

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

Энтальпия. 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. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через параметры состояния системы.

##### Тема 3. 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 4. Второй закон термодинамики

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. Статистическая интерпретация второго закона термодинамики. Второй закон термодинамики и энтропия.

##### Тема 5. Идеальные циклы тепловых двигателей

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.

## Раздел 2. Основы газовой динамики

### Тема 6. Свойства движущегося газа

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. Особенности сверхзвукового потока. Обтекание сверхзвуковым потоком плоскостей стенки, выпуклых и вогнутых поверхностей. Скачки уплотнения и их особенности.

### Тема 7. Основные уравнения газовой динамики

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. Уравнение Эйлера о количестве движения. Уравнение Эйлера о моменте количества движения. Применение уравнений газовой динамики для расчёта элементов ГТД.

### Тема 8. Термодинамика газового потока

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 и сверхзвукового сопла на расчётном и нерасчётном режимах. Расход газа через сопло. Особенности разгона и торможения потока газа при различных воздействиях. Сопло с косым срезом.

## Раздел 3. Теплопередача

Тема 9. Основные положения. Теплопроводность тел при стационарном режиме. Теплообмен конвекцией. Конвективный теплообмен

Основные задачи теории теплообмена. Виды переноса тепла. Температурное поле. Градиент температуры. Закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность плоских однослойных и многослойных стенок. Теплопроводность цилиндрических стенок.

Физические основы процесса. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Уравнение Ньютона. Применение теории

подобия к расчёту конвективной теплоотдачи. Критерии подобия процессов конвективного теплообмена. Теоремы подобия. Теплоотдача (коэффициент теплопередачи, поверхность нагрева, температурный напор, уравнение теплопередачи).

Тема 10. Теплообмен излучением, теплообменные аппараты, методы тепловой защиты

Теплообмен излучением. Основные понятия. Законы теплового излучения. Лучистый теплообмен между твердыми телами. Защитные экраны. Особенности теплового излучения газов.

Назначение, основные типы теплообменных аппаратов, применение в авиационной технике. Понятие о методах расчёта рекуперативных теплообменных аппаратов. Эффективность теплообменников. И способы её повышения.

Конвективное охлаждение. Пористое охлаждение. Заградительное (плёночное) охлаждение. Тугоплавкие защитные покрытия. Уносимые теплозащитные покрытия.

#### 5.4 Практические занятия

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудоёмкость (часы)
5 семестр		
1	Практическое занятие №1-3 Решение задач по определению параметров рабочего тела. Графическое изображение термодинамических процессов	6
2	Практическое занятие №4-6 Решение задач по определению теплоты и работы в термодинамических процессах. Изображения теплоты и работы в диаграммах состояния	6
3	Практическое занятие №7-8 Решение задач по определению параметров состояния рабочего тела, работы, теплоты, изменение энергии и внутренней энергии в термодинамических процессах	4
3	Практическое занятие №9-10 Выполнение индивидуального задания по теме «Термодинамические процессы»	4
3	Практическое занятие №11 Выполнение самостоятельной письменной работы по темам «Газ, как рабочее тело термодинамической системы», «Первый закон термодинамики», «Термодинамические процессы»	2
4	Практическое занятие №12-13 Исследование цикла	4

Номер темы дисциплины	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (часы)
	Карно и анализ теоремы Карно	
4	Практическое занятие №14 Выполнение самостоятельной письменной работы по теме «Второй закон термодинамики»	2
5	Практическое занятие №15 Расчёт и анализ идеального цикла ГТД	2
5	Практическое занятие №16-18 Выполнение расчётно-графической работы по расчёту идеального цикла ГТД согласна варианта	6
Итого за 5 семестр		36
6 семестр		
6	Практическое занятие №19 Скачки уплотнения и их особенности	2
7	Практическое занятие № 20 Применение уравнение газовой динамики для расчёта элементов ГТД	2
7	Практическое занятие №21 Выполнение индивидуального домашнего задания по темам «Свойства движущегося газа», «Основные уравнения газовой динамики»	2
7	Практическое занятие №22 Выполнение индивидуального домашнего задания по темам «Свойства движущегося газа», «Основные уравнения газовой динамики»	2
8	Практическое занятие № 23 Газодинамические функции и их использование при расчётах газовых потоков	2
8	Практическое занятие №24 Выполнение индивидуального домашнего задания по теме «Термодинамика газового потока»	2
8	Практическое занятие №25 Особенности разгона потока газа при различных воздействиях	2
8	Практическое занятие №26 Выполнение самостоятельной работы по теме «Свойства движущегося газа»	2
9	Практическое занятие №27 Теплоотдача (коэффициент теплопередачи, поверхность нагрева)	2
10	Практическое занятие №28 Некоторые расчёты теплообменных аппаратов	2
Итого за семестр 6		20
Всего по дисциплине		56

## 5.5 Лабораторный практикум

Номер (раздела) Темы дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (часы)
Семестр 5		
Раздел 1		
1	Лабораторная работа №1. Ознакомление с учебно-лабораторной базой, методикой измерений параметров рабочего тела в авиационных ГТД	2
3	Лабораторная работа №2. Исследование изохорного процесса	2
3	Лабораторная работа №3. Исследование изобарного процесса	2
Итого за 5 семестр		6
Семестр 6		
Раздел 2		
8	Лабораторная работа №4. Исследование движения газа в канале переменного сечения	4
Раздел 3		
10	Лабораторная работа №5. Определение коэффициента теплоотдачи теплообменного аппарата	4
Итого за семестр 6		8
Всего по дисциплине		14

## 5.6 Самостоятельная работа

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
5 семестр		
1	1. Изучение теоретического материала по теме «Газ, как рабочее тело термодинамической системы» 2. Подготовка к практическому занятию №1-3 [1-12] 3. Выполнение индивидуального домашнего задания 4. Подготовка к выполнению лабораторной работы №1 «Исследование способов измерений параметров рабочего тела в авиационных ГТД»	4
2	1. Изучение теоретического материала по теме «Первый закон термодинамики» 2. Подготовка к практическому занятию №4-6 [1-12] 3. Выполнение индивидуального домашнего задания	5
3	1. Изучение теоретического материала по теме	6



Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
	<p>«Термодинамические процессы»</p> <p>2. Подготовка к выполнению лабораторной работы №2,3 [1-12]</p> <p>3. Выполнение индивидуального домашнего задания</p> <p>4. Подготовка к практическому занятию №7-11</p> <p>5. Подготовка к текущему опрос</p> <p>6. Подготовка к практическому занятию №6</p>	
4	<p>1. Изучение теоретического материала по теме «Второй закон термодинамики»</p> <p>2. Подготовка к практическому занятию №7 «Исследование цикла Карно и анализ Теоремы Карно»</p> <p>3. Подготовка к практическому занятию №12-14 по теме «Второй закон термодинамики» [1-12]</p> <p>4. Подготовка к текущему опрос</p>	7
5	<p>1. Изучение теоретического материала по теме «Идеальные циклы тепловых двигателей»</p> <p>2. Подготовка к практическом занятию №15-18 «Расчёт и анализ идеального цикла ГТД» [1-12]</p> <p>3. Подготовка к текущему опросу</p> <p>4. Подготовка к практическом занятию №10,11 «Выполнение расчётно-графической работы по расчёту идеального цикла ГТД согласно»</p>	7
Итого за 5 семестр		29
6 семестр		
6	<p>1. Изучение теоретического материала по теме «Свойства движущегося газа»</p> <p>2. Подготовка к практическому занятию №19 [1-12]</p> <p>3. Выполнение индивидуального домашнего задания по теме «Свойства движущегося газа»</p>	4
7	<p>1. Изучение теоретического материала по теме «Основные уравнения газовой динамики»</p> <p>2. Подготовка к практическому занятию №13 «Применение уравнений газовой динамики для расчёта элементов ГТД» [1-12]</p> <p>3. Подготовка к практическому занятию №14 «Применение уравнений газовой динамики для расчёта элементов ГТД»</p> <p>4. Подготовка к текущему опросу</p> <p>5. Выполнение индивидуального домашнего задания</p>	4
8	<p>1. Изучение теоретического материала по теме «Термодинамика газового потока»</p>	6

Номер темы дисциплины	Виды самостоятельной работы	Трудо-емкость (часы)
	2. Подготовка к практическому занятию №23-26 «Газодинамические функции и их использование при расчётах газовых потоков» [1-12] 3. Подготовка к выполнению курсового проекта «Исследование движения газа в камере переменного сечения» 4. Подготовка к практическому занятию №17 5. Работа по выполнению курсового проекта 6. Подготовка к практическому занятию №18	
9	1. Изучение теоретического материала по теме «Основные положения. Теплопроводность тел при стационарном режиме. Теплообмен конвекцией. Конвективный теплообмен» 2. Подготовка к практическому занятию №27 [1-12] 3. Подготовка к текущему контролю	2
9	1. Изучение теоретического материала по теме «Основные положения. Теплопроводность тел при стационарном режиме. Теплообмен конвекцией. Конвективный теплообмен» [1-12] 2. Подготовка к выполнению лабораторной работы №5	3
10	1. Изучение теоретического материала по теме «Теплообмен излучением, теплообменные аппараты, методы тепловой защиты» 2. Подготовка к практическому занятию №28 [1-12]	2
10	1. Изучение теоретического материала по теме «Теплообмен излучением, теплообменные аппараты, методы тепловой защиты» [1-12] 2. Завершение работы по курсовому проектированию и подготовка к защите курсового проекта 3. Подготовка к промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплин	3
Итого за 6 семестр		24
Всего по дисциплине		62

### 5.7 Курсовые работы (проекты)

При изучении дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» выполняется курсовой проект «Расчёт сопла Лавалья»

Наименование этапа выполнения курсового проекта	Трудоемкость (часы)
Этап 1. Выдача задания на курсовой проект «Расчёт сопла Лавалья».	2
Этап 2. Выполнение курсового проекта по плану СРС	13
Этап 3. Оформление курсового проекта	2
Защита курсового проекта	2
Итого по курсовому проекту:	19
самостоятельная работа студента, отведенная на выполнение курсового проекта	15
согласно учебному плану	4

## 6 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1 Мухачев, Г.А. **Термодинамика и теплопередача: учебник для вузов/** Г.А. Мухачев, В.К. Шукин. – М: Высшая школа. – 1991. – 480с. – Качество экземпляров 31, ISBN - 5-06-001910-1.

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

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

б) дополнительная литература:

4 Хвостова, В.Н. и др. **Основы термодинамики, газовой динамики и теплопередачи:** С.И. Исаев и др. – М.: Машиностроение, 1968. – 276 с. – ISBN - отсутствует. Качество экземпляров 30.

5 Будзинаускас, В.П. и др. **Основы термодинамики и теплопередачи авиационных двигателей:/** В.П. Будзинаускас, А.Л. Клячкин, Г.Д. Могилевский.– М.: Машиностроение, 1987. – 232 с. – ISBN- отсутствует, Качество экземпляров 132.

6 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. Межгосударственный стандарт ГОСТ 8.417-2002. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 2002. – 28 с. Качество экземпляров 31.

7 **Авиатранспортное обозрение [Текст] :** Air transport observer : журнал / учредитель и издатель: А.Б.Е. Медиа. - Москва : А.Б.Е. Медиа, 1996-. - 27 см.; ISSN 1991-6574 (подписка с 2008).

8 **Крылья Родины :** ежемесячный национальный авиационный журнал. - Москва : ООО "Редакция журнала "Крылья Родины", 1950-.; ISSN 0130-2701 (подписка с 2008).

9 **Авиация и космонавтика вчера, сегодня, завтра** [Текст] : научно-популярный журнал / учредитель: Бакурский Виктор Александрович, Военно-Воздушные Силы России, Лепилкин Андрей Викторович. - Москва : Техинформ, 1997-. - 29 см.; ISSN 1682-7759 (подписка с 2008).

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

10 **Система поиска в сети Интернет** – Режим доступа: <http://www.google.com>, свободный (дата обращения 10.12.2016)

11 **Электронная библиотека** – Режим доступа: <http://www.wikipedia.org>, свободный (дата обращения 10.12.2016).

12 **Онлайн переводчик** – Режим доступа: <http://www.lingvo.ru> свободный, (дата обращения 10.12.2016).

## **7 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Ауд. 360.

Парта (компл Парта 120\*500\*760мм + скамья 2-х местн.) - 30 шт.

ЭкранProjecta Pro Star 183\*240см Matte White S наштативе

Доска двойная

Стол для преподавателя

Проектор Acer X1261 P (1024x768, 3700:1,+/-40 28Db Lamp:4000HRS, case

Ауд. 362.

Парта (компл Парта 120\*500\*760мм + скамья 2-х местн) - 20 шт.

Доска двойная

Стол для преподавателя

Макет авиадвигателя НК 82У

Нервюры крыла

## **8 Образовательные и информационные технологии**

Реализация компетентностного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий, на основе современных информационных и образовательных технологий, что, в сочетании с внеаудиторной работой, приводит к формированию и развитию профессиональных компетенций обучающихся. Это позволяет учитывать, как исходный уровень знаний студентов, так и существующие методические, организационные и технические возможности обучения.

В процессе преподавания дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» используются классические формы и ИТ-методы обучения: лекции, практические занятия (текущий опрос, выполнение индивидуальных домашних заданий по темам), самостоятельная работа студента.

В рамках изучения дисциплины предполагается использовать следующие образовательные технологии.

Входной контроль предназначен для выявления уровня усвоения компетенций обучающимся, необходимых перед изучением дисциплины. Входной контроль осуществляется по вопросам, на которых базируется читаемая дисциплина.

Традиционная лекция составляет основу теоретического обучения в рамках дисциплины и направлена на систематизированное изложение накопленных и актуальных научных знаний. Лекция предназначена для изучения конструкции и технической эксплуатации систем воздушных судов и авиационных двигателей. 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, с использованием IT - технологий, которое сопровождается одновременной демонстрацией слайдов, созданных в среде PowerPoint, при необходимости привлекаются открытые Интернет-ресурсы, а также демонстрационные и наглядно-иллюстрационные материалы.

Лабораторная работа проводится с целью увязки теории с практикой, обучения студентов методам проведения экспериментов, привитие навыков в работе с лабораторным оборудованием и обобщения полученных результатов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в соответствии с учебно-тематическим планом по отдельным группам. Цель практических занятий – закрепить теоретические знания, полученные обучающимися на лекциях и в результате самостоятельного изучения соответствующих разделов рекомендуемой литературы. Практическое занятие предназначено для более глубокого освоения и анализа тем, изучаемых в рамках данной дисциплины.

Практические задания выполняются в целях практического закрепления теоретического материала, излагаемого на лекции, отработки навыков использования пройденного материала. Выполнение практического задания предполагает исследование актуальных проблем в сфере технической эксплуатации и обслуживания систем воздушных судов и авиационных двигателей. Для этого используются IT-методы. Использование MS Office (Power Point), содержащие гиперссылки, необходимые для перехода к показам слайдов, презентаций, текстам, фигурам, таблицам, графикам и рисункам в презентации, документам Microsoft Office Word, листам Microsoft Office Excel, локальным или Интернет-ресурсам. Рассматриваемые в рамках практического занятия доклады имеют профессиональную направленность и содержат элементы, необходимые для формирования компетенций в рамках подготовки бакалавра по профилю «Техническое обслуживание летательных аппаратов и авиационных двигателей».

Главной целью практического занятия является индивидуальная, практическая работа каждого обучающегося, направленная на формирование у него компетенций, определенных в рамках дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача». Это позволяет сформировать у студентов систему знаний, умений и навыков по методике и IT-технологии использования Интернет-ресурсов в процессе обучения; активизировать на практических занятиях деятельность студентов путем работы по выполнению заданий с использованием MS Office.

Самостоятельная работа студента является составной частью учебной работы. Ее основной целью является формирование навыка самостоятельного приобретения знаний по некоторым не особо сложным вопросам теоретического курса, закрепление и углубление полученных знаний, самостоятельная работа с IT-технологиями, справочниками, периодическими изданиями и научно-популярной литературой, в том числе находящимися в глобальных компьютерных сетях. Самостоятельная работа подразумевает выполнение учебных заданий. Все задания, выносимые на самостоятельную работу, выполняются студентом либо в конспекте, либо на отдельных листах формата А4 (по указанию преподавателя). Контроль выполнения заданий, выносимых на самостоятельную работу, осуществляет преподаватель.

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

Уровень и качество знаний обучающихся оцениваются по результатам входного контроля, текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины в виде зачета с оценкой (5 семестр) и экзамена (6 семестр) и КУП.

Текущий опрос успеваемости обучающихся осуществляется для оценки уровня остаточных знаний путём проведения устного или письменного опроса по темам дисциплины.

Защита лабораторной работы проводится с целью увязки теории с практикой, обучения студентов методам проведения экспериментов, привитие навыков в работе с лабораторным оборудованием и обобщения полученных результатов.

Курсовой проект выполняется в соответствии с методическими указаниям по выполнению курсового проекта с целью закрепления студентом теоретических знаний и практических навыков, которые позволяют научно обоснованно и технически грамотно осуществлять техническую эксплуатацию воздушных судов, формировать сознательное и творческое отношения к выполнению требований, содержащихся в документах, регламентирующих техническую эксплуатацию.

Экзамен заключительный контроль, оценивающий уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины.

Аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в виде зачета с оценкой в 5 семестре и экзамена в 6 семестре. Зачет с оценкой и экзамен позволяет оценить уровень освоения компетенций за весь период изучения дисциплины. Зачет с оценкой и экзамен предполагают ответ на теоретические вопросы из перечня вопросов, вынесенных на зачет с оценкой и экзамен. К моменту сдачи зачета с оценкой и экзамена должны быть пройдены предыдущие формы контроля. Методика формирования результирующей оценки в обязательном порядке учитывает активность студентов на занятиях, посещаемость занятий, оценки за практические работы, выполнение самостоятельных заданий.

### **9.1 Балльно-рейтинговая оценка текущего контроля успеваемости и знаний студентов**

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**

#### **5 семестр**

Результаты текущего контроля (текущий опрос) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Текущий опрос в начале лекции или практического занятия по теме предыдущего занятия, по лабораторной работе оценивается положительно в том случае, если обучающийся четко и ясно, по существу дает ответ на поставленный вопрос, или же не сразу дал верный ответ, но смог дать его правильно при помощи ответов на наводящие вопросы.

Результаты текущего контроля (индивидуальное домашнее задание) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Основаниями для положительного оценивания и выставления «зачтено» являются: полное изложение полученных знаний в письменной и графической форме в соответствии с требованиями или неполное изложение полученных знаний, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала. Допускаются: единичные, несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами; отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них; отдельные существенные ошибки.

Основаниями для выставления оценки «не зачтено» являются: неполное, бессистемное изложение учебного материала, что препятствует усвоению последующей информации по дисциплине. Существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.

На момент зачета с оценкой студент должен получить «зачтено» за участие в текущих опросах по крайней мере на 50 % лекционных занятий и получить «зачтено» за индивидуальные домашние задания.

По итогам освоения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» проводится промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета предполагает устный ответ студента по билетам на вопросы из перечня.

Зачет с оценкой по дисциплине проводится в 5 семестре.

## 6 семестр

Результаты текущего контроля (текущий опрос) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Текущий опрос в начале лекции или практического занятия по теме предыдущего занятия, по лабораторной работе оценивается положительно в том случае, если обучающийся четко и ясно, по существу дает ответ на поставленный вопрос, или же не сразу дал верный ответ, но смог дать его правильно при помощи ответов на наводящие вопросы.

Результаты текущего контроля (индивидуальное домашнее задание) оцениваются по двухбалльной системе: «зачтено» / «не зачтено».

Основаниями для положительного оценивания и выставления «зачтено» являются: полное изложение полученных знаний в письменной и графической форме в соответствии с требованиями или неполное изложение полученных знаний, однако это не препятствует усвоению последующего программного материала. Допускаются: единичные, несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами; отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них; отдельные существенные ошибки.

Основаниями для выставления оценки «не зачтено» являются: неполное, бессистемное изложение учебного материала, что препятствует усвоению последующей информации по дисциплине. Существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.

На момент экзамена студент должен получить «зачтено» за участие в текущих опросах по крайней мере на 50 % лекционных занятий и получить «зачтено» за индивидуальные домашние задания.

По итогам освоения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» проводится промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена предполагает устный ответ студента по билетам на вопросы из перечня.

Экзамен по дисциплине проводится в 6 семестре.

## 9.3 Темы курсовых работ (проектов) по дисциплине



При изучении дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» выполняется курсовой проект «Расчёт сопла Лаваля».

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 [2, 3].

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

«Высшая математика», «Информатика и информационные технологии», «Физика», «Теоретическая механика».

Вопросы входного контроля по дисциплине «Высшая математика»

1 Определение производной функции, ее геометрический смысл.

Извлечь корень:

2  $\sqrt[3]{8(a^3)^5 b^6}$

Упростить выражение:

3  $\frac{a^3 - ab^2}{ab + b^2}$

Упростить выражение:

$$\frac{x^{-2} - y^{-2}}{x^{-1} + y^{-1}}$$

Вопросы входного контроля по дисциплине «Информатика и информационные технологии»

1. Информатизация общества и место информатики в современном мире.
2. Особенности современных компьютеров и их развитие.
3. Прикладное программное обеспечение как инструмент решения функциональных задач.

Вопросы входного контроля по дисциплине «Физика»

- 1 Гармонические колебания и их параметры.
- 2 Сложение колебаний одинаковой и различных частот, направленных вдоль одной прямой.
- 3 Сложение взаимно перпендикулярных колебаний.
- 4 Собственная частота.

Вопросы входного контроля по дисциплине «Теоретическая механика»

1. Теорема о движении центра масс механической системы. Законы сохранения движения центра масс.
2. Координаты центра параллельных сил. Центр тяжести тела.

3. Тело массой 2 кг от толчка поднимается по гладкой наклонной плоскости с начальной скоростью 2 м/с. Определить работу силы тяжести на пути, пройденном телом до остановки

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

Оценивание курсового проекта: Оценка “отлично” ставится за проект, в котором содержатся элементы творчества, дается сравнительная характеристика рассматриваемых теоретических положений и глубокий системный анализ фактического материала, делаются самостоятельные выводы. Расчеты выполнены верно, без ошибок. Работа оформлена в полном соответствии с требованиями. На защите студент показал полное знание материала курсового проекта и дал аргументированные ответы на поставленные вопросы.

Оценка “хорошо” ставится тогда, когда проект выполнен на хорошем теоретическом уровне, достаточно полно освещаются вопросы темы. Анализ литературных источников выполнен, однако выводы не носят глубокий и всесторонний характер. Имеются некоторые нарушения в оформлении курсового проекта. Имеются незначительные ошибки в расчетах. На защите студент показал знание материала проведенных исследований. При ответах на ряд дополнительных вопросов аргументация была недостаточной.

Оценку “удовлетворительно” проекты, в которых правильно освещены основные вопросы темы, но не проявилось умение логически стройно и самостоятельно излагать источники. Имеется ряд нарушений требований в оформлении работы. Имеют место существенные стилистические и грамматические ошибки. Имеются много ошибок в расчетах, которые не влияют на конечный результат. Выводы по разделам и параграфам носят описательный характер и не отражают результатов проведенного анализа. На ряд дополнительных вопросов студент не дал ясных ответов.

Оценка “неудовлетворительно” ставится в том случае, когда в проекте содержатся отдельные ошибочные положения, студент не может ответить на дополнительные вопросы в ходе защиты, не владеет материалом проекта, не в состоянии дать объяснения выводам и теоретическим положениям данной проблемы. Расчеты выполнены неправильно. В этом случае студенту предстоит повторная защита.

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
ОК-5: Способностью к самоорганизации и самообразованию.	Понимает: - методы и приемы	На зачёт с оценкой выносятся	На экзамен выносятся

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>Знать:</p> <p>- методы и приемы самоорганизации в получении и систематизации знаний; методику самообразования, касающуюся: устройства, принципа, назначение системы воздушного судна и авиационного двигателя.</p>	<p>самоорганизации в получении и систематизации знаний; методику самообразования, касающуюся: устройства, принципа, назначение системы воздушного судна и авиационного двигателя.</p>	<p>вопросы, охватывающие все содержание учебной дисциплины. Знания обучающихся оцениваются по четырех бальной системе с выставлением обучающимся итоговой оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».</p>	<p>вопросы, охватывающие все содержание учебной дисциплины. Знания обучающихся оцениваются по четырех бальной системе с выставлением обучающимся итоговой оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».</p>
<p>Уметь:</p> <p>- самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для объяснения работы систем воздушного судна и систем работающего авиационного двигателя, использовать информацию о работе систем для анализа их работоспособности.</p>	<p>Применяет:</p> <p>- самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для объяснения работы систем воздушного судна и систем работающего авиационного двигателя, использовать информацию о работе систем для анализа их работоспособности.</p>	<p>Оценка «отлично» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: полного и уверенного изложения обучающимся учебного материала по каждому из вопросов; уверенного владения обучающимся понятийно-категориальным аппаратом</p>	<p>Оценка «отлично» при приеме экзамена выставляется в случае: полного, правильного и уверенного изложения обучающимся учебного материала по каждому из вопросов; уверенного владения</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологиями организации процесса самообразования, способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки знаний о работе систем воздушного судна и систем работающего авиационного двигателя, использовать информацию о работе систем для анализа их работоспособности.</li> </ul>	<p>Анализирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологии организации процесса самообразования, способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки знаний о работе систем воздушного судна и систем работающего авиационного двигателя, использовать информацию о работе систем для анализа их работоспособности.</li> </ul>	<p>учебной дисциплины; логически последовательно, взаимосвязанного и правильно структурированного изложения обучающимся учебного материала, умения устанавливать и проследить причинно-следственные связи между событиями, процессами и явлениями, о которых идет речь в вопросах; приведения обучающимся</p>	<p>обучающимся понятийно-категориальным аппаратом учебной дисциплины; логически последовательного, взаимосвязанного и правильно структурированного изложения обучающимся учебного материала, умения устанавливать и проследить причинно-следственные связи между событиями, процессами и явлениями, о которых идет речь в вопросах; приведения обучающимся</p>
<p>ОПК-1:</p> <p>Способностью решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований</p>	<p>Понимает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- как решать стандартные задачи производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и</li> </ul>	<p>надлежащей аргументации, наличия у обучающегося логически и нормативно обоснованной точки зрения при освещении проблемных, дискуссионных аспектов учебного материала по вопросам;</p>	<p>связи между событиями, процессами и явлениями, о которых идет речь в вопросах; приведения обучающимся надлежащей аргументации, наличия у обучающегося логически и нормативно обоснованной</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>информационной безопасности.</p> <p>Знать:</p> <p>-как решать стандартные задачи производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности</p> <p>-свойства и параметры газа, как рабочего тела;</p> <p>-последовательность и объём расчёта термодинамических процессов;</p> <p>-особенности термодинамического метода исследования идеальных циклов тепловых двигателей</p>	<p>теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности</p> <p>-свойства и параметры газа, как рабочего тела;</p> <p>- последовательность и объём расчёта термодинамических процессов;</p> <p>-особенности термодинамического метода исследования идеальных циклов тепловых двигателей</p>	<p>лаконичного и правильного ответа обучающегося на дополнительные вопросы преподавателя.</p> <p>Оценка «хорошо» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: грамотное, связное и непротиворечивое изложение сути вопроса; актуальность используемых в сообщении сведений; удовлетворительное качество изложения материала.</p> <p>Оценка «удовлетворительно» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: отсутствие грамотного, связного и непротиворечивого изложения сути вопроса.</p> <p>Оценка</p>	<p>точки зрения при освещении проблемных, дискуссионных аспектов учебного материала по вопросам; лаконичного и правильного ответа обучающегося на дополнительные вопросы преподавателя.</p> <p>Оценка «хорошо» при приеме экзамена выставляется в случае: грамотное, связное и непротиворечивое изложение сути вопроса; актуальность используемых в сообщении сведений; удовлетворительное качество изложения материала.</p> <p>Оценка «удовлетворительно» при</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>Уметь:</p> <p>-решать стандартные задачи производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности</p> <p>-определять параметры рабочего тела в характерных точках цикла ГТД, пути повышения энергетической эффективности ГТД</p>	<p>Применяет знания:</p> <p>-в решении стандартных задач производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий, а также с учетом основных требований информационной безопасности</p> <p>-определять параметры рабочего тела в характерных точках цикла ГТД, пути повышения энергетической</p>	<p>«не удовлетворительно» при приеме зачёта с оценкой выставляется в случае: отказа обучающегося от ответа по билету с указанием, либо без указания причин; невозможности изложения обучающимся учебного материала по двум или всем вопросам; допущения обучающимся существенных ошибок при изложении учебного материала по двум или всем вопросам; скрытое или явное использование обучающимся при подготовке к ответу нормативных источников, основной и дополнительной литературы, конспектов</p>	<p>при приеме экзамена выставляется в случае: отсутствие грамотного, связного и непротиворечивого изложения сути вопроса.</p> <p>Оценка «не удовлетворительно» при приеме экзамена выставляется в случае: отказа обучающегося от ответа по билету с указанием, либо без указания причин; невозможность и изложения обучающимся учебного материала по двум или всем вопросам; допущения обучающимся существенных ошибок при изложении учебного</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>Владеть:</p> <p>-навыками решения стандартных задач производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий по поиску данных для решения стандартных задач, а также с учетом основных требований информационной безопасности</p>	<p>эффективности ГТД</p> <p>Анализирует:</p> <p>-навыки решения стандартных задач производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи с использованием информационной и библиографической культуры, с применением информационно-коммуникационных технологий по поиску данных для решения стандартных задач, а также с учетом основных требований информационной безопасности</p>	<p>лекций и иного вспомогательного материала, кроме случаев специального указания или разрешения преподавателя; невладения обучающимся понятиями и категориями данной дисциплины; невозможность обучающегося дать ответы на дополнительные вопросы преподавателя.</p> <p>Обучающийся имеет право отказаться от ответа по выбранному вопросу с указанием, либо без указания причин и взять другой вопрос.</p> <p>Дополнительные вопросы могут быть заданы обучающемуся в случае:</p>	<p>материала по двум или всем вопросам; скрытое или явное использование обучающимся при подготовке к ответу нормативных источников, основной и дополнительной литературы, конспектов лекций и иного вспомогательного материала, кроме случаев специального указания или разрешения преподавателя; невладения обучающимся понятиями и категориями данной дисциплины; невозможность обучающегося дать ответы на дополнительные вопросы преподавателя.</p>
<p>ОПК-2:</p> <p>Способностью представлять адекватную</p>	<p>Понимает:</p> <p>- как представить адекватную современному</p>	<p>необходимости конкретизации и изложенной обучающимся</p>	<p>дополнительные вопросы преподавателя.</p>

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.</p> <p>Знать: -о представлении адекватной современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи -основные законы термодинамики, методы расчёта теплообменных аппаратов, методы тепловой защиты элементов авиационной техники</p>	<p>уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи -основные законы термодинамики, методы расчёта теплообменных аппаратов, методы тепловой защиты элементов авиационной техники</p>	<p>информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости проверки знаний обучающегося по основным темам и проблемам курса при недостаточной полноте его ответа по вопросам.</p> <p>На экзамен выносятся вопросы, охватывающие все содержание учебной дисциплины.</p> <p>Знания обучающихся оцениваются по четырех бальной системе с выставлением обучающимся итоговой оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно»</p>	<p>Обучающийся имеет право отказаться от ответа по выбранному вопросу с указанием, либо без указания причин и взять другой вопрос.</p> <p>Дополнительные вопросы могут быть заданы обучающемуся в случае: необходимости и конкретизации и изложенной обучающимся информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости и проверки знаний обучающегося</p>
<p>Уметь: -адекватное представление современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений,</p>	<p>Применяет знания: - для адекватного представления современного уровня знаний научной картины мира на основе знания</p>		



Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи	основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи	но». Оценка «отлично» при приеме экзамена выставляется в случае: полного, правильного и уверенного изложения обучающимся учебного материала по каждому из вопросов; уверенного владения обучающимся понятийно-категориальным аппаратом учебной дисциплины; логически последовательного, взаимосвязанного и правильно структурированного изложения обучающимся учебного материала, умения устанавливать и проследивать причинно-следственные связи между событиями,	по основным темам и проблемам курса при недостаточной полноте его ответа по вопросам.
<p>Владеть:</p> <p>-представлением адекватной современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи</p> <p>-навыками уверенности в выборе форм и методов решения задач в ходе профессиональной деятельности, умения анализировать полученные результаты</p>	<p>Анализирует:</p> <p>-представление адекватной современному уровню знаний научной картины мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи</p> <p>-навыками уверенности в выборе форм и методов решения задач в ходе профессиональной деятельности, умения анализировать полученные результаты</p>		
ОПК-3: Способностью выявлять	Понимать: - как выявлять естественнонаучн		

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.</p> <p>Знать: -как выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p>	<p>ую сущность проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат</p>	<p>процессами и явлениями, о которых идет речь в вопросах; приведения обучающимся надлежащей аргументации, наличия у обучающегося логически и нормативно обоснованной точки зрения при освещении проблемных, дискуссионных аспектов учебного материала по вопросам; лаконичного и правильного ответа обучающегося на дополнительные вопросы преподавателя.</p> <p>Оценка «хорошо» при приеме экзамена выставляется в случае: грамотное, связное и непротиворечивое изложение сути вопроса; актуальность</p>	
<p>Уметь: -выявлять естественнонаучную сущность проблем,</p>	<p>Применять: -выявление естественно-научной</p>		

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи для анализа возникающих проблем, привлекать соответствующий физико-математический аппарат.</p>	<p>сущности проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи для анализа возникающих проблем, привлекать соответствующий физико-математический аппарат</p>	<p>используемых в сообщении сведений; удовлетворительное качество изложения материала. Оценка «удовлетворительно» при приеме экзамена выставляется в случае: отсутствие грамотного, связного и непротиворечивого изложения сути вопроса. Оценка «не удовлетворительно» при приеме экзамена выставляется в</p>	
<p>Владеть: -навыками выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей на основе знаний технической</p>	<p>Оценивать: -навыки выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе производственно-технологической деятельности в области технической эксплуатации летательных</p>	<p>случае: отказа обучающегося от ответа по билету с указанием, либо без указания причин; невозможности изложения обучающимся учебного материала по двум или всем вопросам; допущения</p>	

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>термодинамики и теплопередачи, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат -навыками работы с математическим аппаратом термодинамики, представляющим собой совокупность математических моделей рассматриваемых явлений</p>	<p>аппаратов и двигателей на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат -навыками работы с математическим аппаратом термодинамики, представляющим собой совокупность математических моделей рассматриваемых явлений.</p>	<p>обучающимся существенных ошибок при изложении учебного материала по двум или всем вопросам; скрытое или явное использование обучающимся при подготовке к ответу нормативных источников, основной и дополнительной литературы, конспектов лекций и иного вспомогательного материала, кроме случаев</p>	
<p>ПК-17: Способностью участвовать в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению.</p>	<p>Понимать: - процедуру проведения комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию</p>	<p>специального указания или разрешения преподавателя; невладения обучающимся понятиями и категориями данной дисциплины; невозможность обучающегося дать ответы на дополнительные вопросы преподавателя.</p>	

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
<p>Знать:</p> <p>-процедуру проведения комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи</p>	<p>по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи</p>	<p>Обучающийся имеет право отказаться от ответа по выбранному вопросу с указанием, либо без указания причин и взять другой вопрос. Дополнительные вопросы могут быть заданы обучающемуся в случае: необходимости конкретизации и изложенной обучающимся информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости проверки знаний обучающегося по основным темам и проблемам курса при недостаточной полноте его ответа по вопросам.</p>	
<p>Уметь:</p> <p>-проводить комплекс планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи</p> <p>-применять законы термодинамики и основные уравнения</p>	<p>Применяет знания как:</p> <p>- проводить комплекс планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и</p>	<p>информации по вопросам с целью проверки глубины знаний отвечающего по связанным между собой темам и проблемам; необходимости проверки знаний обучающегося по основным темам и проблемам курса при недостаточной полноте его ответа по вопросам.</p>	

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
газовой динамики для анализа газовых потоков, протекающих в ГТД в обеспечении исправности и работоспособности авиационной техники	теплопередачи -применять законы термодинамики и основные уравнения газовой динамики для анализа газовых потоков, протекающих в ГТД в обеспечении исправности и работоспособности авиационной техники.		
Владеть: -способностью участвовать в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи -методами проведения экспериментов, навыками обобщения	Оценивает: -способность участвовать в проведении комплекса планово-предупредительных работ по обеспечению исправности, работоспособности и готовности объектов авиационной техники к эффективному использованию по назначению применяя знания на основе знаний технической термодинамики и теплопередачи -методами		

Критерии оценивания компетенций	Показатели оценивания компетенции	Описание шкалы оценивания 5 семестр	Описание шкалы оценивания 6 семестр
полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным(техническим) оборудованием, измерительными приборами, вычислительной техникой -методами оценивания процессов, протекающих в системах воздушных судов и элементах авиационных двигателей.	проведения экспериментов, навыками обобщения полученных результатов, культуры и точности в работе с лабораторным(техническим) оборудованием, измерительными приборами, вычислительной техникой -методами оценивания процессов, протекающих в системах воздушных судов и элементах авиационных двигателей.		

## 9.6 Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

### 9.6.1 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего и промежуточного контроля успеваемости по темам 1, 2, 3 (Письменная самостоятельная работа)

#### Вариант 1.

- 1 Параметры состояния газа. Определение, единицы измерения.
- 2 Энтропия, определение. Изображение теплоты в тепловой «Т-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  $0,2 \text{ м}^3/\text{кг}$  до  $1,7 \text{ м}^3/\text{кг}$ . 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  $10 \text{ кг}$  воздуха, если за счет подвода  $1300 \text{ кДж}$  тепла, его температура увеличилась на  $100 \text{ К}$ .

#### 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  $1 \text{ кг}$  воздуха имеет большую величину: при давлении  $4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и удельном объёме  $0,8 \text{ м}^3/\text{кг}$  или при том же давлении и температуре  $1273 \text{ К}$ ?

#### 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  $20 \text{ К}$ . При температуре  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  давление в баллоне было  $150 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . 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  $8 \cdot 10^4 \text{ Па}$  и температуру  $300 \text{ К}$ , а в конце сжатия параметры газа соответственно стали  $80 \cdot 10^5 \text{ Па}$  и  $600 \text{ К}$ ?

#### 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.

**9.6.2 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме 4 (Письменная самостоятельная работа):**

**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 цикла 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 °С, температура холодильника 127 °С. Во сколько раз надо увеличить температуру нагревателя, чтобы КПД машины увеличился в 3 раза?

### 9.6.3 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме 5 (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.

#### 9.6.4 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по темам 6, 7(Письменная самостоятельная работа):

##### Вариант 1.

1 Распространение малых возмущений в потоках газа, движущихся со скоростью меньше скорости звука.

2 Уравнение неразрывности.

3 Определить механическую работу  $L_t$ , полученную на рабочем колесе турбины от 1 кг газа, если известны температура газов  $T_r = 1200$  К, скорость газа на входе в турбину  $C_r = 1$  м/с, а также температура  $T_c = 300$  К и скорость  $C_c = 1200$  м/с на выходе из сопла.

##### Вариант 2.

1 Распространение малых возмущений в потоках газа, движущихся со скоростью равной скорости звука.

2 Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа.

3 При движении энергоизолированного потока по каналу на определённом участке его кинетическая энергия увеличилась на 65300 Дж/кг. Определить как и на сколько изменилась температура газа.

##### Вариант 3.

1 Распространение малых возмущений в потоках газа, движущегося со скоростью больше скорости звука.

2 Выведите уравнение Бернулли для несжимаемого потока.

3 Определить температуру воздушного потока на входе в двигатель, если известно, что самолёт совершает полёт на высоте 11 км со скоростью 950 км/ч, а скорость потока на входе в двигатель составляет 180 м/с.

##### Вариант 4.

1 Выведите обобщённое уравнение Бернулли.

2 Особенности прямых скачков уплотнения.

3 В ГТД к каждому килограмму воздуха от компрессора подводится работа, равная 85000 Дж/кг. На что затрачивается эта работа? Определить температуру воздуха за компрессором, если температура воздуха на входе в него была равной 350 °С.

##### Вариант 5.

- 1 Особенности косых скачков уплотнения.
- 2 Какими видами энергии обладает движущийся газ? Напишите и сформулируйте уравнение сохранения энергии движущегося газа в общем виде.
- 3 Определить количество теплоты, подводимой к потоку в камере сгорания, чтобы температура потока с 749 К на входе в камеры сгорания повысилась до 1450 К на выходе из камеры сгорания, а скорость потока соответственно увеличилась с 130 м/с до 180 м/с.

#### Вариант 6.

- 1 Назовите основные свойства газа, которые оказывают наибольшее влияние на характер его движения.
- 2 Уравнение Эйлера о количестве движения.
- 3 Определить площадь поперечного сечения канала, чтобы обеспечить расход газа 250 кг/с со скоростью 120 м/с и плотностью 1,38 кг/м.

### 9.6.5 Примерный перечень вариантов заданий для проведения текущего контроля успеваемости по теме № 8 (Письменная самостоятельная работа):

#### 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  $0,5 \text{ м}^2$ , полные параметры воздуха на входе в сопло: давление –  $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , 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  $p_0^* = 15 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $T_0^* = 1500 \text{ К}$ ,  $p_c = 1,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Для газа принять:  $k = 1,4$ ;  $R = 400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

#### 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  $1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , если на входе в сопло параметры заторможенного потока соответственно равны: давление –  $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , 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.

#### Вариант 5.

- 1 Работа дозвукового сопла на расчётном режиме.
- 2 Как определяются формы канала для разгона и торможения газового потока?
- 3 Определить скорость газа и скорость звука в критическом сечении сопла, если температура газа в критическом сечении равна 833 К.

#### Вариант 6.

- 1 Работа дозвукового сопла на нерасчётном режиме.
- 2 При каких условиях возможно достижение максимально-возможной скорости газа?
- 3 Определить скорость истечения газа из реактивного сопла в атмосферу при следующих данных: давление газа перед соплом –  $5 \cdot 10^5$  Па, температура равна 700 К, а давление газа на выходе из сопла –  $1 \cdot 10^5$  Па.

### 9.6.6 Примерный перечень индивидуальных домашних заданий:

#### Индивидуальное домашнее задание № 1

##### Задача 1.1

Давление газа в баллоне самолёта  $p = \text{№} \cdot 10^2$  кгс/м<sup>2</sup>, выразить это давление в кгс/см<sup>2</sup>.

##### Задача 1.2

Давление газа за компрессором двигателя  $\text{№} \cdot 10$  кгс/см<sup>2</sup>. Выразить это давление: в миллиметрах ртутного столба, кгс/м<sup>2</sup>, Па, миллиметрах водяного столба.

Задача 1.3 Манометр, установленный в открытой кабине самолёта, находящегося на земле, и измеряющий давление масла, показывает  $\text{№} \cdot 6$  кгс/см<sup>2</sup> 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  $B = 442,5$  мм.рт.ст., если абсолютное давление остается неизменным?

Ускорение свободного падения считать нормальным ( $g_H = 9,8055 \text{ м/с}^2$ ) 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  $0,5 \cdot (№ + 20)$  миллиметров водяного столба, выразить в мм.рт.ст., кгс/см<sup>2</sup>, кгс/м<sup>2</sup>, 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<sup>3</sup>. Сделать вывод о зависимости этих величин между собой.

Задача 1.7

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

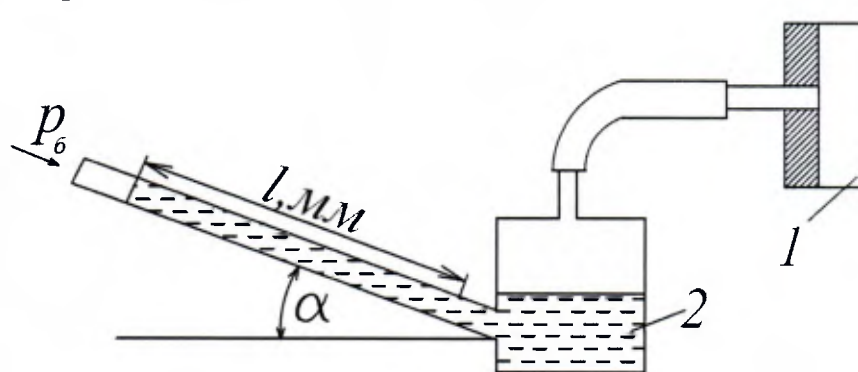


Рис.1.1. К задаче 1.7

Определить абсолютное давление в воздухопроводе 1, если длина  $l$  столба жидкости в трубке микроманометра 2, наклонённой под углом  $\alpha=30^\circ$ , равна  $(180+№)$ мм.

Рабочая жидкость – спирт плотностью  $\rho=0,8 \text{ г/см}^3$ . Показание барометра  $(0,1020 + № \cdot 0,002)$  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<sup>2</sup> и температуре 727 °С плотность газа составляет 0,685 кг/м<sup>3</sup>. 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.

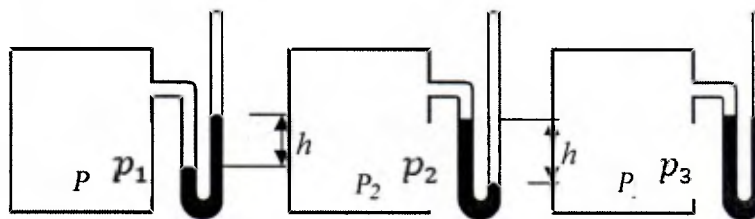


Рис.1.2

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  $p = 1,2 \cdot 10^4$  Па, если:

а) объём увеличился от 0,1 м<sup>3</sup>/кг до 0,9 м<sup>3</sup>/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 расширение воздуха происходило при постоянном давлении.

Задача 2.4

Сжатый воздух при давлении  $150 \cdot 10^5$  Па и температуре 273 К находится в баллоне объёмом  $10^{-3}$  м<sup>3</sup>. Вследствие подогрева температура воздуха повысилась до 288 К. Определить количество подведённой теплоты и конечное давление.

Задача 2.5

В начальном состоянии воздух имел удельный объём 0,5 м<sup>3</sup>/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*?

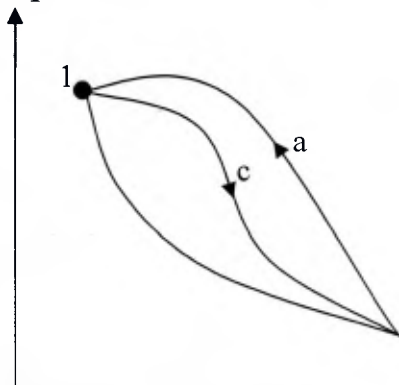
Задача 2.14

Что такое энтальпия, что она характеризует? Напишите выражение для вычисления энтальпии, изменения энтальпии. К рабочему телу при  $p = \text{const}$  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 газа получить 10 кДж работы? Сколько нужно подвести или отвести теплоты в процессе  $2a1$ , если на сжатие расходуется 50 кДж энергии в форме работы?





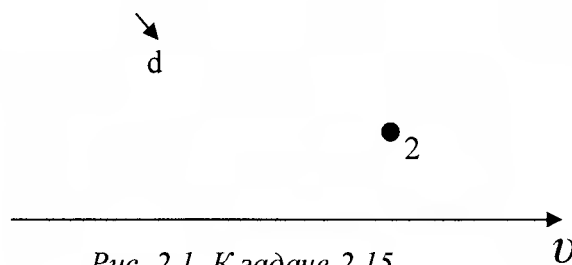


Рис. 2.1. К задаче 2.15

### 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  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  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  $2 \text{ м}^3$  под давлением  $\text{№} \cdot 10^5$  Па изотермически сжимают до давления  $4 \cdot \text{№} \cdot 10^5$  Па. Определить объём воздуха в конце процесса сжатия и работу, совершённую внешними силами.

#### Задача 3.4

Один кг воздуха, имеющий давление  $60 \cdot \text{№} \cdot 10^4$  Па и температуру 300 К, изотермически расширяется до давления  $6 \cdot \text{№} \cdot 10^4$  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  $p_1 = 180 \cdot \text{№} \cdot 10^4$  Па,  $T_1 = 1200$  К до  $p_2 = 18 \cdot \text{№} \cdot 10^4$  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  $v_1 = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ . 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  $0,8 \text{ м}^3$  или при том же давлении и температуре 1273 К?

### Задача 3.9

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

$$\begin{array}{lll} \text{а) } p_1 = 147 \cdot 10^4 \text{ Па;} & v_1 = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг;} & T_1 = 373 \text{ К} \\ \text{б) } p_2 = 9,57 \cdot 10^4 \text{ Па;} & v_2 = 0,15 \text{ м}^3/\text{кг;} & T_2 = 50 \text{ К} \end{array}$$

### Задача 3.10

Определить массу воздуха, находящегося в комнате площадью  $25 \text{ м}^2$  и высотой  $3,2 \text{ м}$ . Принять, что температура воздуха в комнате  $t = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ , а барометрическое давление  $B = 986,5 \text{ гПа}$ .

### Задача 3.11

Давление водяных паров в воздухе комнаты равно  $2 \text{ кПа}$ . Сколько содержится водяного пара в комнате? Площадь комнаты  $25 \text{ м}^2$ , высота  $3 \text{ м}$ , температура воздуха  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Молекулярная масса водяного пара  $\mu_{\text{H}_2\text{O}} = 18,014 \text{ кг/кмоль}$

### Задача 3.12

В комнате площадью  $35 \text{ м}^2$  и высотой  $3,1 \text{ м}$  воздух находится при  $t = 23 \text{ }^\circ\text{C}$  и барометрическом давлении  $B = 973 \text{ гПа}$ .

Какое количество воздуха проникает с улицы в комнату, если барометрическое давление увеличится до  $B = 1013 \text{ гПа}$ . 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:

$$t_1 = 0 \text{ }^\circ\text{C}; t_2 = -30 \text{ }^\circ\text{C}; t_3 = 30 \text{ }^\circ\text{C}; t_4 = 56 \text{ }^\circ\text{C}.$$

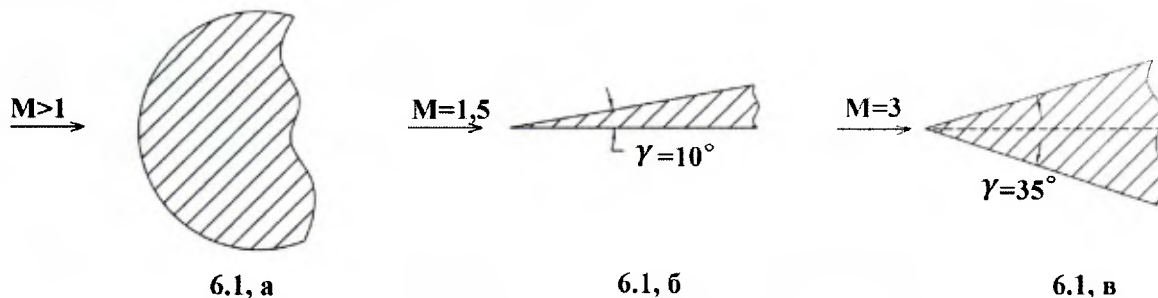
Сделать вывод по полученным результатам.

### Задача 4.6

Определить скорость звука в воздухе и число Маха полета самолёта, летящего со скоростью  $V = 1080 \text{ км/ч}$  на высоте  $H = 5 \text{ км}$ ;  $H = 10 \text{ км}$ ;  $H = 15 \text{ км}$ . 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?



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.

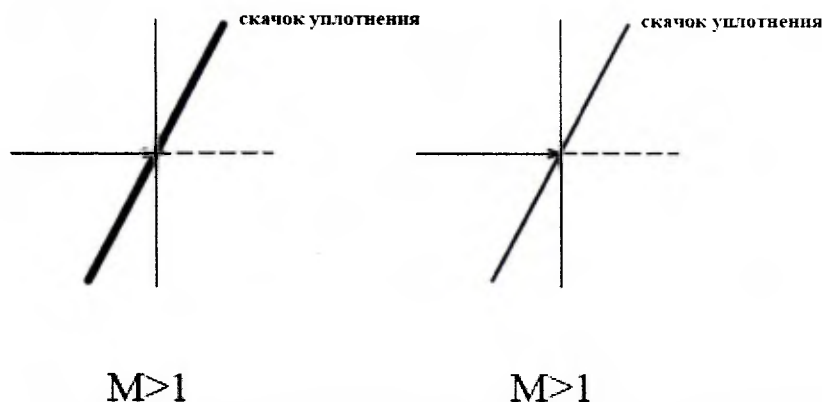


Рис. 6.2, а. К задаче 6.8

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  $\alpha = 30^\circ$ . Определить число Маха потока. Может ли угол принять значение, равное  $90^\circ$ ?

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  $\alpha = 45^\circ$ . 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  $600^\circ\text{C}$ . Найти число Маха в этом сечении.

Задача 4.12

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

6 семестр

### 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

$Q_{\text{внешн}} + L_{\Gamma} = i_2 - i_1 - \int_1^2 \frac{d\rho}{\rho}$  - 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 ( $2 \cdot \text{№} + 180$ ) м/с, плотность  $1,2 \text{ кг/м}^3$ , диаметр на входе в компрессор 0,5 м.

Задача 5.2

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

Задача 5.3

Поток газа входит в канал со скоростью  $N_0 \cdot 10$  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  $2 \cdot N_0 \cdot 10$  м/с.

Задача 5.5

При движении энергоизолированного потока газа по каналу его температура понизилась на  $(10+N_0) \cdot 20$  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  $0,5 \cdot N_0 \cdot 1000$  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  $(10+N_0) \cdot 25$  °С.

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.

Задача 5.9

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  $1,5 \text{ кг/м}^3$ , а скорость потока составляет  $0,7 \cdot V_H$ .

### Индивидуальное домашнее задание № 6

Задача 6.1

Определить скорость истечения газа из реактивного сопла в атмосферу при следующих данных: давление газа перед соплом  $20 \cdot N_0 \cdot 10^4$  Па, температура равна 700 К, давление газа на выходе из сопла  $1 \cdot 10^5$  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  $0,5 \text{ м}^2$ ; скорость потока в сечении 180 м/с, плотность воздуха  $1,05 \text{ кг/м}^3$ .

#### 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  $2,5 \cdot 10^5$  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  $0,5 \text{ м}^2$ : полные параметры на входе в сопло: давление –  $2,5 \cdot 10^5$  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  $p_0^* = (15 + \text{№}) \cdot 10^5$  Па,  $T_0^* = 2000$  К,  $p_c = 1,2 \cdot 10^5$  Па. Для газа принять:  $k = 1,4$ ;  $R = 400$  Дж/(кг·К). Определить также размеры выходного сечения сопла, если расходы газа составляют  $2 \cdot \text{№}$  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,  $p_c = 1,4$  МПа? Какова действительная скорость истечения, если коэффициент скорости сопла равен 0,9?

Задача 6.13,а

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.

Задача 6.13,б

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

### 9.6.7 Примерный перечень экзаменационных вопросов:

5 семестр

- 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.

#### 6 семестр

- 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.

## 10 Методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» обучающимися организуется в следующих формах: лекции, практические занятия, лабораторные работы под руководством преподавателя, выполнение курсового проекта и самостоятельная работа студентов.

Изучение каждого раздела рекомендуется начинать с анализа общей его структуры и круга рассматриваемых вопросов, затем перейти к изучению материала по темам.

При изучении всех разделов основное внимание следует уделить выяснению физической сущности явления, нельзя ограничиваться лишь его математическим описанием. Важно обеспечить прикладной характер изучаемых вопросов, обеспечивая непосредственное использование выводов и законов применительно к процессам, протекающим в авиационных двигателях.

На лекциях рассматриваются наиболее важные вопросы, фундаментальные законы, требующие глубокой проработки вопросов, связанных с изучением на уровне современных знаний.

При проведении лекций преподаватель опирается на базовые знания студентов по дисциплинам, чтобы основное время уделить специфическим вопросам дисциплины. Слушая лекцию, необходимо научиться выделять и фиксировать ее ключевые моменты, записывая их более четко и выделяя каким-либо способом из общего текста. Кроме того, необходимо научиться делать понятные для обучающегося сокращения при записи текста лекции и, в целом, стремиться освоить быструю манеру письма.

Полезно применять какую-либо удобную систему сокращений и условных обозначений (из известных или выработанных самостоятельно), что поможет значительно ускорить процесс записи лекции. При ведении конспекта лекции необходимо четко фиксировать рубрикацию материала – разграничение разделов, тем, вопросов, параграфов и т. п. Качественно сделанный конспект лекций поможет обучающимся в процессе самостоятельной работы, подготовке к практическим занятиям, выполнении домашних заданий, при подготовке к сдаче экзамена.

Практические занятия проводятся в целях изучения нового материала, а также в целях углубления и закрепления студентами полученных знаний на лекциях, увязки теории с практикой.

Любое практическое занятие начинается, как правило, с формулирования его целевых установок. Понимание обучаемыми целей и задач занятия, его значения для специальной подготовки способствует повышению интереса к занятию и активизации работы по овладению учебным материалом, это делается в форме опроса обучаемых, который служит также средством контроля за их самостоятельной работой.

Основную часть практического занятия составляет работа обучаемых по выполнению учебных заданий под руководством преподавателя.

Каждое практическое занятие заканчивается, как правило, кратким подведением итогов, выставлением оценок каждому студенту и указаниями преподавателя о последующей самостоятельной работе.

Темы практических занятий заранее сообщаются обучающимся для того, чтобы они имели возможность подготовиться и проработать соответствующие теоретические вопросы дисциплины. В начале каждого практического занятия преподаватель кратко доводит до обучающихся цель и задачи занятия и обращает внимание обучающихся на наиболее сложные вопросы, относящиеся к изучаемой теме.

Индивидуальное домашнее задание (ИДЗ): даётся по конкретной пройденной теме с целью приобщения студента к самостоятельной работе, приобретения навыков в работе с дополнительной учебной литературой для решения практических задач.

Текущий опрос: предназначена для промежуточной оценки уровня освоения студентом материала в виде выполнения самостоятельной письменной работы.

Для повышения эффективности обучения на лекциях и практических занятиях желательно использовать мультимедийные проекторы. В целях экономии учебного времени целесообразно предоставлять студентам раздаточные материалы с наиболее сложными графическими материалами.

Самостоятельная работа студента является важной составной частью учебного процесса и проводится в целях закрепления и углубления знаний, полученных на лекциях и других видах занятий, выработки навыков работы с литературой, активного поиска новых знаний, выполнения индивидуальных домашних заданий, подготовки к предстоящим занятиям.

Целью самостоятельной работы обучающихся при изучении настоящей учебной дисциплины является выработка ими навыков работы с нормативно-правовыми актами, научной и учебной литературой, другими источниками, а также развитие у обучающихся устойчивых способностей к самостоятельному (без помощи преподавателя) изучению и обработке полученной информации.

В процессе самостоятельной работы обучающийся должен воспринимать, осмысливать и углублять получаемую информацию, решать практические задачи, анализировать ситуации, подготавливать доклады, выполнять домашние задания, овладевать профессионально необходимыми

навыками. Самостоятельная работа обучающегося весьма многообразна и содержательна. Она включает следующие виды занятий:

- самостоятельный подбор, изучение, конспектирование, анализ учебно-методической и научной литературы, периодических научных изданий, нормативно-правовых документов, статистической информации;

- индивидуальная творческая работа по осмыслению собранной информации, проведению сравнительного анализа материалов, полученных из разных источников, интерпретации информации, выполнение домашних заданий, подготовка докладов;

В процессе изучения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» важно постоянно пополнять и расширять свои знания. Изучение рекомендованной литературы и других источников информации является важной составной частью восприятия и усвоения новых знаний. Кроме того, необходимо отметить, что, в определенном смысле, качественный уровень всей самостоятельной работы обучающегося определяется уровнем самоконтроля.

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».

« 11 » января 2016 года, протокол № 1 .

Разработчики:

старший преподаватель  Никифоров А.И.  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы разработчиков)

Заведующий кафедрой № 24 «Авиационной техники и диагностики»:

д.т.н., доцент, с.н.с.  Тарасов В.Н.  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы заведующего кафедрой)

Программа согласована:

Руководитель ОПОП

д.т.н., доцент, с.н.с.  Тарасов В.Н.  
(ученая степень, ученое звание, фамилия и инициалы руководителя ОПОП)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании Учебно-методического совета Университета «20» января 2016 года, протокол № 3.

С изменениями и дополнениями от «30» августа 2017 года, протокол № 10 (в соответствии с Приказом от 5 апреля 2017 г. № 301 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры»).