



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Воткинский филиал  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»  
(ВФ ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)



УТВЕРЖДАЮ

Директор

/ И. А. Давыдов

16.04 20 21 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Термодинамика и теплопередача

(наименование – полностью)

направление (специальность) 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»  
(шифр, наименование – полностью)

направленность (профиль/программа/специализация) «Ракетно-космические композитные конструкции»  
(наименование – полностью)

уровень образования: специалитет

форма обучения: очная  
(очная, очно-заочная или заочная)

общая трудоемкость дисциплины составляет: 6 зачетных единиц



Кафедра: «Ракетостроение»

полное наименование кафедры, представляющей рабочую программу

Составитель: Корнев Алексей Анатольевич, к.т.н., доцент

Ф.И.О.(полностью), степень, звание

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и рассмотрена на заседании кафедры «Ракетостроение»

Протокол от 16.04 2021 г. № 6

Заведующий кафедрой «Ракетостроение»

16.04 / Ф. А. Уразбахтин  
2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Количество часов рабочей программы и формируемые компетенции соответствуют учебному плану 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

Протокол заседания учебно-методической комиссии по УГСН 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника» от 15.04 2021 г. № 2

Председатель учебно-методической комиссии  
по УГСН 24.00.00 «Авиационная и ракетно-космическая техника»  
(шифр и наименование полностью)

15.04 / Ф. А. Уразбахтин  
2021 г.

Руководитель образовательной программы

15.04 / Ф. А. Уразбахтин  
2021 г.

## Аннотация к дисциплине

<b>Название дисциплины</b>	Термодинамика и теплопередача
<b>Направление (специальность) подготовки</b>	24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов
<b>Направленность (профиль/программа/специализация)</b>	Ракетно-космические композитные конструкции
<b>Место дисциплины</b>	Обязательная часть Блока 1. Дисциплины (модули)
<b>Трудоемкость (з.е. / часы)</b>	6 з.е. / 216 часов
<b>Цель изучения дисциплины</b>	Целью освоения дисциплины является изучение студентами основных теоретических положений курса, необходимых для освоения специальных дисциплин, грамотной инженерной оценки тепловых явлений в системах и агрегатах, приобретение знаний и умений термодинамического исследования процессов и циклов тепловых машин, по расчету теплообменных аппаратов и устройств, систем нагрева и охлаждения.
<b>Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины</b>	ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общетеоретические знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности
<b>Содержание дисциплины (основные разделы и темы)</b>	Основные понятия термодинамики. Идеальные и реальные газы. Первый закон термодинамики. Второй закон термодинамики. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа. Термодинамика газового потока. Термодинамические циклы энергетических установок. Основные понятия и определения теории теплообмена. Теплоотдача и теплопроводность. Конвективный теплообмен. Теплообмен излучением. Теплопередача. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей.
<b>Форма промежуточной аттестации</b>	Зачет/Экзамен

## 1. Цели и задачи дисциплины:

**Целью** освоения дисциплины является изучение студентами основных теоретических положений курса, необходимых для освоения специальных дисциплин, грамотной инженерной оценки тепловых явлений в системах и агрегатах, приобретение знаний и умений термодинамического исследования процессов и циклов тепловых машин, по расчету теплообменных аппаратов и устройств, систем нагрева и охлаждения.

### Задачи дисциплины:

- приобретение знаний по теоретическим основам технической термодинамики, термодинамическим циклам энергетических установок и решению задач термодинамики;
- приобретение знаний по теоретическим основам теплопроводности, теплообмена, методам тепловой защиты поверхностей и решению задач теплопередачи;
- приобретение умений аналитического и графического исследования тепловых процессов, решения задач термодинамики и теплопередачи;
- приобретение навыков по расчету термодинамических процессов, по расчету процессов теплопередачи и расчету тепловой защиты поверхностей.

## 2. Планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины у студента должны быть сформированы

### Знания, приобретаемые в ходе освоения дисциплины

№ п/п	Знания
1	Термодинамические параметры рабочих тел, теплоемкость, энтальпия и энтропия. Основные термодинамические процессы. Основные законы термодинамики
2	Термодинамические циклы энергетических установок
3	Методы решения задач термодинамики
4	Основные понятия теории теплообмена, виды теплообмена
5	Дифференциальные уравнения теплоотдачи и теплопроводности. Основные законы теплопередачи
6	Организация и расчет тепловой защиты поверхностей

### Умения, приобретаемые в ходе освоения дисциплины

№ п/п	Умения
1	Решать задачи термодинамики, рассчитывать термодинамические процессы
2	Определять термическую эффективность теплового двигателя и холодильной машины
3	Исследовать и решать задачи теплопередачи и теплообмена
4	Рассчитывать температурные поля плоских и цилиндрических одно- и многослойных стенок

### Навыки, приобретаемые в ходе освоения дисциплины

№ п/п	Навыки
1	Владеть методиками термодинамических расчетов
2	Владеть методами и приемами аналитического и графического исследования тепловых процессов
3	Владеть методиками расчета процессов теплопередачи и теплообмена

### Компетенции, приобретаемые в ходе освоения дисциплины

Компетенции	Индикаторы	Знания	Умения	Навыки
ОПК-1. Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения инженерных задач профессиональной деятельности	ОПК-1.1. Знать: - аппарат решения научных и технических задач в области ракетной техники – начертательной геометрии, инженерной графики, высшей математики, теории вероятности, математической статистики, физики, химии, колебаний, теоретической механики, механики жидкости и газа, термодинамики и теплопередачи, электротехники и электроники, сопротивления материалов; - методы и способы решения задач практических задач по определению основных физических, химических, тепловых, электрических параметров; - основы проектирования зубчатых передач, муфт, неразъёмных и разъёмных соединений, а также и технологии создания материалов	1, 2, 3, 4, 5, 6	1, 2, 3	1, 2, 3
	ОПК-1.2. Уметь: - применять аппарат высшей математики, теории вероятности и математической статистики, математической логики в решении задач колебаний, механики твердого, жидкого и газообразного тела; - использовать приемы и способы решения задач, связанных с электротехникой, электроникой, термодинамикой, теплопередачей; - проводить исследования элементов ракетной техники с точки зрения используемых материалов и колебательных процессов	1, 2, 3, 5	1, 2, 3, 4	1, 2, 3
	ОПК-1.3. Владеть: - аппаратом решения прикладных и научных задач; - навыками решения задач, описывающие химические физические, тепловые, электрические и информационные процессы; - методами составления алгоритмов для решения технических задач на вычислительной технике,	3, 4, 6	1, 2, 3, 4	1, 2, 3

	построения и определения размеров геометрических фигур			
--	--	--	--	--

### 3. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП.

Дисциплина изучается на 3 и 4 курсах в 6 и 7 семестрах.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, умениях и навыках, полученных при освоении дисциплин (модулей): высшая математика, физика, химия, компьютерная графика. работа в среде КОМПАС, информационные технологии, материаловедение.

Перечень последующих дисциплин (модулей), для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем): механика жидкости и газа, ракетные двигатели, теплозащитные и теплоизоляционные материалы ракет.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1 Структура дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы					СРС	Содержание самостоятельной работы
				контактная				СРС		
				лек	пр	лаб	КЧА			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Основные понятия термодинамики. Идеальные и реальные газы. Первый закон термодинамики	32	6	10	4	4	-	14	Изучение дополнительного материала, подготовка к защите практических и лабораторных работ	
2	Второй закон термодинамики. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа. Термодинамика газового потока	36	6	10	6	6	-	14	Изучение дополнительного материала, подготовка к защите практических и лабораторных работ	
3	Термодинамические циклы энергетических установок	38	6	12	6	6	-	14	Изучение дополнительного материала, подготовка реферата, подготовка к защите практической и лабораторной работ	
	Зачет	2	6	-	-	-	0,3	1,7	Зачет выставляется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----



4	Основные понятия и определения теории теплообмена. Теплоотдача и теплопроводность	24	7	6	4	6	-	8	Изучение дополнительного материала, подготовка к защите практической и лабораторных работ
5	Конвективный теплообмен	22	7	4	4	6	-	8	Изучение дополнительного материала, подготовка к защите практической и лабораторной работ
6	Теплообмен излучением. Теплопередача. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей	26	7	6	8	4	-	8	Изучение дополнительного материала, подготовка к защите практических и лабораторной работ
	Экзамен	36	7	-	-	-	0,4	35,6	Экзамен выставляется по совокупности результатов текущего контроля успеваемости
	<b>Итого:</b>	<b>216</b>		<b>48</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>0,7</b>	<b>103,3</b>	

#### 4.2 Содержание разделов курса и формируемых в них компетенций

№ п/п	Раздел дисциплины	Коды компетенции и индикаторов	Знания	Умения	Навыки	Форма контроля
1	2	3	4	5	6	7
1	Основные понятия термодинамики. Идеальные и реальные газы. Первый закон термодинамики	ОПК-1.1, 1.2, 1.3	1, 3	1	1	Защита практических и лабораторных работ. Контрольная работа №1
2	Второй закон термодинамики. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа. Термодинамика газового потока	ОПК-1.1, 1.2, 1.3	1, 3	1, 2	1, 2	Защита практических и лабораторных работ. Контрольная работа №2
3	Термодинамические циклы энергетических установок	ОПК-1.1, 1.2, 1.3	1, 2, 3	1, 2	1, 2	Защита реферата, защита практической и лабораторной работ. Контрольная работа №3
4	Основные понятия и определения теории теплообмена. Теплоотдача и теплопроводность	ОПК-1.1, 1.2, 1.3	1, 4, 5	3, 4	2, 3	Защита практической и лабораторных работ. Контрольная работа №4
1	2	3	4	5	6	7
5	Конвективный теплообмен	ОПК-1.1, 1.2, 1.3	1, 4	3, 4	3	Защита практической и

						лабораторной работ. Контрольная работа №5
6	Теплообмен излучением. Теплопередача. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей	ОПК-1.1, 1.2, 1.3	1, 4, 5, 6	3, 4	3	Защита практических и лабораторной работ. Контрольная работа №6

### 4.3 Наименование тем лекций, их содержание и объем в часах

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лекций	Трудоемкость (час)
1	1	Предмет и история развития термодинамики. Основные понятия. Термодинамические параметры. Уравнение состояния. Идеальные газы. Основные газовые законы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Расчет смеси газов. Теплоемкость газов. Зависимость теплоемкости от температуры и характера процесса. Термодинамический процесс. Первый закон термодинамики, энтальпия. Изменение внутренней энергии и работа газа в термодинамическом процессе. Водяной пар и его свойства	10
2	2	Основные термодинамические процессы. Второй закон термодинамики. Энтропия и закон ее возрастания. Работоспособность. $Ts$ – диаграмма термодинамических процессов. Термодинамика потока газа или пара. Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа. Скорость и расход газа при течении. Критическое сечение. Дросселирование газов и паров. Уравнение энергии газового потока. Располагаемая работа газового потока. Основные закономерности соплового и диффузорного адиабатного течения газа	10
3	3	Циклы теплового двигателя и холодильной машины. Цикл Карно. КПД и холодильный коэффициент тепловых установок. Циклы компрессорных машин и поршневых двигателей внутреннего сгорания. Циклы газотурбинных установок. Методы повышения термического КПД ГТУ. Циклы реактивных двигателей. Жидкостные реактивные двигатели. Воздушно-реактивные двигатели. Пульсирующий ВРД. Компрессорный ВРД. Термодинамические методы сравнения циклов тепловых двигателей. Цикл Карно во влажном паре и его недостатки. Цикл Ренкина. Бинарные циклы. Циклы атомных электростанций.	12
4	4	Основные понятия и определения теории теплообмена. Виды теплообмена. Основные законы термодинамики и теплопередачи. Теплопроводность плоской, цилиндрической и шаровой стенок; круглого стержня и трубы с внутренним источником теплоты. Дифференциальные уравнения теплоотдачи и теплопроводности, массообмена, движения и сплошности, граничные условия. Теплопроводность и теплопередача при стационарном и нестационарном режиме	6
5	5	Конвективный теплообмен, закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи. Основы теории подобия физических явлений. Критериальные числа подобия. Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции. Теплообмен при кипении и конденсации. Гипотеза пограничного слоя и уравнение теплоотдачи в пограничном слое	4
6	6	Теплообмен излучением. Радиационные характеристики тел. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана–Больцмана, Кирхгофа) Теплообмен излучением абсолютно черных и реальных тел. Тепловое излучение газов и смесей. Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача через стенку. Тепловая изоляция. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей	6
	<b>Всего</b>		<b>48</b>

#### 4.4 Наименование тем практических занятий, их содержание и объем в часах

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических работ	Трудоемкость (час)
1	1	Уравнение состояния идеальных газов. Термодинамические процессы	2
2	1	Определение термодинамических свойств смеси газов	2
3	2	Первый закон термодинамики	2
4	2	Законы и уравнение состояния идеальных газов	2
5	2	Второй закон термодинамики	2
6	3	Циклы энергетических установок	6
7	4	Теплопроводность в плоской и цилиндрической стенке	4
8	5	Истечение и дросселирование газов и паров	4
9	6	Лучистый теплообмен между телами, разделенными прозрачной средой	4
10	6	Расчет теплозащитного покрытия	4
	<b>Всего</b>		<b>32</b>

#### 4.5 Наименование тем лабораторных работ, их содержание и объем в часах

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час)
1	1	Определение термодинамических свойств смеси газов	2
2	1	Законы и уравнение состояния идеальных газов	2
3	2	Теплоемкость, энтальпия и внутренняя энергия газов в идеальном состоянии	2
4	2	Термодинамические процессы	2
5	2	Исследование процессов в соплах и диффузорах	2
6	3	Идеальный цикл Карно. Компрессоры и циклы двигателей внутреннего сгорания	6
7	4	Расчет температурных полей при стационарной теплопроводности	2
8	4	Расчет нестационарных температурных полей в плоских и цилиндрических стенках	4
9	5	Теория подобия в задачах конвективного теплообмена	6
10	6	Расчет тепловой защиты	4
	<b>Всего</b>		<b>32</b>

#### 5. Оценочные материалы для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине

Для контроля результатов освоения дисциплины проводятся:

– контрольные работы:

1. Основные понятия термодинамики;
  2. Основные законы термодинамики;
  3. Термодинамические циклы энергетических установок;
  4. Основные понятия теории теплообмена;
  5. Конвективный теплообмен;
  6. Теплообмен излучением и тепловая защита поверхностей;
- защиты практических работ;
- защиты лабораторных работ;
- защита (презентация) реферата.

Примечание: оценочные материалы (типовые варианты контрольных работ и др.) приведены в приложении к рабочей программе дисциплины.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – зачет и экзамен.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:**

### **а) основная литература:**

1. Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие / А. В. Делков, М. Г. Мелкозеров, Д. В. Черненко, Ю. Н. Шевченко. — Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, 2020. — 102 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/107226.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

2. Шаров, Ю. И. Термодинамика и теплопередача: учебник / Ю. И. Шаров. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 311 с. — ISBN 978-5-7782-4024-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98680.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

3. Горбачев, М. В. Тепломассообмен: учебное пособие / М. В. Горбачев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2015. — 443 с. — ISBN 978-5-7782-2803-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91625.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

4. Кудинов, В. А. Теплопроводность и термоупругость в многослойных конструкциях: учебное пособие / В. А. Кудинов, Б. В. Аверин, Е. В. Стефанюк. — Москва : Высшая школа, 2008. — 305 с. — ISBN 978-5-06-005942-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/21361.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

### **б) дополнительная литература:**

5. Половникова, Л. Б. Техническая термодинамика и теплотехника: учебное пособие / Л. Б. Половникова. — Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2019. — 175 с. — ISBN 978-5-9961-2203-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/101453.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

6. Лоренц, Г. А. Лекции по термодинамике / Г. А. Лоренц; перевод М. Е. Гинцбург ; под редакцией К. В. Астахова. — 2-е изд. — Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 172 с. — ISBN 978-5-4344-0783-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/97367.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

7. Журавец, И. Б. Конспект лекций по термодинамике : учебное пособие / И. Б. Журавец, С. З. Манойлина, А. В. Ворохобин. — Воронеж : Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2016. — 281 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/72679.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

8. Крайнов, А. В. Термодинамика и теплопередача. Часть 1. Термодинамика : учебное пособие / А. В. Крайнов, Е. Н. Пашков. — Томск : Томский политехнический университет, 2017. — 160 с. — ISBN 978-5-4387-0769-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/84039.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

### **в) методические указания:**

9. Лабораторный практикум по термодинамике : учебное пособие / С. Н. Богданов, А. В. Клещкий, В. В. Митропов [и др.] ; под редакцией О. Б. Цветков, В. В. Митропов. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2016. — 89 с. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/67246.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

10. Бахтин, Н. А. Лабораторный практикум по физике / Н. А. Бахтин, Г. Н. Белоусов, А. М. Осинцев. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. — 178 с. — ISBN 978-5-89289-814-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/61289.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

11. Кошелев, Э. А. Молекулярная физика. Термодинамика : учебно-методическое пособие / Э. А. Кошелев. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 46 с. — ISBN 978-5-7782-3995-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/98718.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей

12. Васьков Е.Т. Техническая термодинамика и теплопередача: метод. указания к лабораторным работам для студентов всех специальностей. СПб.: СПбГАСУ, 2003. 80 с.

13. Беляева Л.И. Термодинамика и теплопередача: метод указания / Л.И. Беляева, А.С. Петухов, А.В. Комаров. – Ухта: УГТУ, 2016. – 60 с.

14. Казанцева И.Л. Техническая термодинамика и теплотехника: Методические указания к выполнению контрольной и самостоятельной работы. Энгельс: Изд-во ЭТИ СГТУ им. Ю.А. Гагарина, 2014. 36 с.

### **г) перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети Интернет:**

1. Электронно-библиотечная система IPRbooks <http://istu.ru/material/elektronno-bibliotechnaya-sistema-iprbooks>.

2. Электронный каталог научной библиотеки ИжГТУ имени М.Т. Калашникова Web ИРБИС [http://94.181.117.43/cgi-bin/irbis64r\\_12/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS](http://94.181.117.43/cgi-bin/irbis64r_12/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS).

3. Национальная электронная библиотека – <http://нэб.рф>.

4. Мировая цифровая библиотека – <http://www.wdl.org/ru/>.

5. Международный индекс научного цитирования Web of Science – <http://webofscience.com>.

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – <https://elibrary.ru/defaultx.asp>.

### **д) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Microsoft Office (лицензионное ПО)

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

1. Лекционные занятия.

Учебные аудитории для лекционных занятий укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

2. Практические занятия.

Учебные аудитории для практических занятий укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

3. Лабораторные работы.

Для лабораторных занятий используется аудитория №101, оснащенная мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории – проектор, экран, ноутбук, 13 стационарных персональных компьютеров.

4. Самостоятельная работа.

Помещение для самостоятельной работы оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде ИжГТУ имени М.Т. Калашникова:

- библиотека ВФ ИжГТУ имени М.Т. Калашникова (адрес: 427430, г. Воткинск, ул. П.И. Шувалова, д. 1).

При необходимости рабочая программа дисциплины (модуля) может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе для обучения с применением дистанционных образовательных технологий. Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК).

**Лист согласования рабочей программы дисциплины (модуля) на учебный  
год**

Рабочая программа дисциплины «Термодинамика и теплопередача» по специальности

24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов»

по специализации

«Ракетно-космические композитные конструкции»

согласована на ведение учебного процесса в учебном году:

<i>Учебный год</i>	<i>«Согласовано»: заведующий кафедрой, ответственной за РПД (подпись и дата)</i>
2021 – 2022	
2022 – 2023	
2023 – 2024	
2024 – 2025	

УТВЕРЖДАЮ

Директор

\_\_\_\_\_ Давыдов И.А.

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины (модуля)**

**«Термодинамика и теплопередача»**

по специальности 24.05.01 «Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов», специализация «Ракетно-космические композитные конструкции»

**на 20\_\_/20\_\_ учебный год**

В рабочую программу вносятся следующие изменения:

- 1) .....
- 2) .....

Дополнения и изменения рассмотрены и одобрены на заседании кафедры « \_\_\_\_ »  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г., протокол № \_\_\_\_.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Ф.А. Уразбахтин  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Заведующий выпускающей кафедрой \_\_\_\_\_ Ф.А. Уразбахтин  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель образовательной программы \_\_\_\_\_ Ф.А. Уразбахтин  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.



# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА.

(наименование дисциплины)

24.05.01 - ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ РАКЕТ  
И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

(шифр и наименование направления/специальности наименование дисциплины)

СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ «РАКЕТЫ С РДТТ»

(наименование профиля/специализации/магистерской программы)

Специалист

Квалификация (степень) выпускника

форма обучения: очная

**Паспорт  
фонда оценочных средств  
по дисциплине**

**Термодинамика и теплопередача. Термодинамика и теплопередача 2**

(наименование дисциплины)

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины*	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия термодинамики. Идеальные и реальные газы. Первый закон термодинамики	ОПК-1	
2	Второй закон термодинамики. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа. Термодинамика газового потока	ОПК-1	Контрольная работа 1
3	Термодинамические циклы энергетических установок	ОПК-1	
	Зачет		Собеседование по вопросам по лекционному материалу Отчет по СРС. Отчеты по лабораторным работам. Вопросы и задачи к экзамену
4	Основные понятия и определения теории теплообмена. Теплоотдача и теплопроводность		
5	Конвективный теплообмен	ОПК-1	Контрольная работа 2
6	Теплообмен излучением. Теплопередача. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей	ОПК-1	Темы для самостоятельной работы
	Экзамен	ОПК-1	Контрольная работа 3 Собеседование по вопросам по лекционному материалу Отчет по СРС. Отчеты по лабораторным работам. Вопросы и задачи к зачету

\*Наименование темы (раздела) или тем (разделов) берется из рабочей программы дисциплины.

# 1. Зачетно-экзаменационные материалы

## 1.1 Перечень контрольных вопросов для проведения зачета.

- 2 Предмет и история развития термодинамики
- 3 Основные понятия (рабочее тело, энергия, теплота, работа, термодинамическая система – открытая, изолированная, однородная, гетерогенная). Нормальные условия
- 4 Термодинамическая система. Примеры
- 5 Параметры состояния газа – давление, температура, удельный объем, Уравнение состояния
- 6 Идеальные газы. Основные газовые законы. Свойства реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса
- 7 Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Уравнение состояния смеси и расчет долей компонентов и теплоемкости смеси
- 8 Теплоемкость газов. Истинная и средняя теплоемкости. Зависимость теплоемкости от температуры и характера процесса
- 9 Термодинамический процесс. Первый закон термодинамики, энтальпия
- 10 Изменение внутренней энергии и работа газа в термодинамическом процессе. Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа
- 11 Процесс парообразования. Водяной пар и его свойства
- 12 Основные газовые (термодинамические) процессы (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный)
- 13 Второй закон термодинамики. Циклы теплового двигателя и холодильной машины (круговые процессы)
- 14 Энтропия. Закон возрастания энтропии. Работоспособность. (Гипотеза тепловой смерти Вселенной)
- 15  $Ts$  – диаграмма термодинамических процессов
- 16 Термодинамика потока газа или пара. Скорость и расход газа при течении
- 17 Критическое сечение. Дросселирование газов и паров
- 18 Критическая скорость истечения газов. Сопло Лавала
- 19 Идеальные циклы теплового двигателя (Карно) и холодильной машины
- 20 КПД и холодильный коэффициент тепловых установок
- 21 Цикл Аткинсона. Цикл Брайтона/Джоуля. Обратный цикл Брайтона
- 22 Цикл Дизеля. Цикл Ленуара
- 23 Цикл Миллера. Цикл Отто
- 24 Цикл Ренкина. Цикл Стёрлинга
- 25 Цикл Тринклера. Цикл Хамфри
- 26 Циклы компрессорных машин и поршневых двигателей внутреннего сгорания
- 27 Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей
- 28 Жидкостные реактивные двигатели
- 29 Воздушно-реактивные двигатели
- 30 Схема и  $pV$  - диаграмма поршневого компрессора

## Перечень контрольных вопросов для проведения экзамена.

1. Основные понятия и определения теории теплообмена. Виды теплообмена
2. Основные законы термодинамики и теплопередачи
3. Теплопроводность плоской однослойной и многослойной стенок
4. Теплопроводность цилиндрической однослойной и многослойной стенок
5. Теплопроводность шаровой стенки; круглого стержня и трубы с внутренним источником теплоты
6. Дифференциальные уравнения теплоотдачи и теплопроводности

7. Дифференциальные уравнения массообмена, движения и сплошности
8. Граничные условия I, II, III, IV рода
9. Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме
10. Теплопроводность и теплопередача при нестационарном режиме
11. Конвективный теплообмен. Основные понятия, число Рейнольдса и закон Ньютона-Рихмана
12. Коэффициент теплоотдачи
13. Подобие процессов конвективного теплообмена. Критериальные числа подобия Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Пекле, Фурье
14. Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции
15. Теплообмен при кипении и конденсации
16. Теплообмен при движении среды с большой скоростью
17. Гипотеза пограничного слоя и уравнение теплоотдачи в пограничном слое
18. Теплообмен излучением. Коэффициенты отражения, поглощения и проницаемости
19. Законы теплового излучения Планка, Вина
20. Законы теплового излучения Стефана–Больцмана, Кирхгофа
21. Теплообмен излучением между телами. Теплообмен излучением абсолютно черных и реальных тел.
22. Тепловое излучение газов и смесей
23. Температурные поля в конструкциях летательных аппаратов
24. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей
25. Лучистый теплообмен методы тепловой защиты поверхностей
26. Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача через стенку
27. Тепловая изоляция

### 1.2 Типовые задачи на зачет

28. 1. Воздушный компрессор сжимает 129 кг/ч воздуха. Установлено, что при сжатии энтальпия воздуха увеличивается на 17 МДж/ч, а энтальпия охлаждающей компрессор воды – на 10 МДж/ч. Найти мощность привода компрессора, пренебрегая потерями и изменениями кинетической и потенциальной энергии. *Ответ:* 50 кВт.
29. 2. Центробежный компрессор сжимает 100 кг/ч азота, при этом энтальпия азота увеличивается на 200 кДж/кг. Какова должна быть мощность привода компрессора, если теплообменом с окружающей средой и изменением кинетической и потенциальной энергии сжимаемого азота пренебречь? *Ответ:* 5,56 кВт.
30. 3. Баллон с водородом объемом 40 л выносится из помещения с температурой 5°C в машинный зал, где температура достигает 25°C. Определить изменение энтальпии водорода и количество теплоты, полученной газом после выравнивания температуры, если начальное давление в баллоне составляло 12 МПа. *Ответ:* газ получил 84,24 кДж теплоты, энтальпия изменилась на 118,27 кДж.
31. 4. В закрытом сосуде емкостью 1,5 м<sup>3</sup> содержится кислород при давлении 0,3 МПа и температуре 25°C. Определить конечную температуру газа после подвода к нему 4 МДж тепла. *Ответ:* 917,9°C.
32. 5. Воздух выходит из компрессора с температурой 160°C при давлении 0,7 МПа и поступает в холодильник, на выходе из которого его температура составляет 25°C. Определить количество теплоты, отданной охлаждающей воде в течение часа, если производительность компрессора 6 м<sup>3</sup>/мин. *Ответ:* 275,435 МДж.
33. 6. По экспериментальным данным молярная теплоемкость аммиака при 300 К равна 28,50 кДж/(кмоль·К), а при 800 К она равна 40,1 кДж/(кмоль·К). Установить по этим данным линейную интерполяционную формулу температурной зависимости молярной теплоемкости аммиака. *Ответ:*  $c_p = 21,54 + 0,0232 T$ , кДж/(кмоль·К).
34. 7. При определении средней изобарной теплоемкости воздуха используется проточный калориметр с электрическим нагревателем. Определить среднюю массовую теплоемкость воздуха, протекающего через калориметр, если при включении

- электрического нагревателя сила тока равна 0,46 А, напряжение на концах нагревателя 25,33 В, а разность температур воздуха до и после нагревателя равна 18 К. Расход воздуха через калориметр  $0,55 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ; давление 750 мм рт. ст.; температура воздуха, поступающего в калориметр, равна 297 К. *Ответ:*  $c_{pm} = 1,00387 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .
35. 8. В сосуде находится смесь, состоящая из одного киломоля кислорода и двух киломолей азота при давлении 0,1 МПа и температуре 30°C. Эта смесь охлаждается при постоянном объеме до температуры 10°C. Определить изменение внутренней энергии смеси. *Ответ:*  $\Delta u_{см} = 69,8 \text{ кДж}/\text{кг}$ .
36. 9. Определить эксергию потока водяного пара при давлении 10,0 МПа и температуре 500°C, если температура среды 20°C, а давление 0,1 МПа. *Ответ:*  $ex = 1438 \text{ кДж}/\text{кг}$ .
37. 10. Дымовые газы имеют следующий массовый состав:  $g_{\text{CO}_2} = 16,1 \%$ ;  $g_{\text{O}_2} = 7,5 \%$ ;  $g_{\text{N}_2} = 76,4 \%$ . Рассчитать энтальпию смеси этих газов, отнесенную к одному килограмму смеси, при температуре 800°C и отсчитанную от 0°C. *Ответ:*  $h_{см} = 872 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

### 1.2 Типовые задачи на экзамен

1. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали [ $\lambda=40 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ]; б) из бетона [ $\lambda=1,1 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ]; в) из диатомитового кирпича [ $\lambda=0,11 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ]. Во всех трех случаях толщина стенки 50 мм. Температуры на поверхности стенки поддерживаются постоянными: 100°C и 90°C.
2. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной 50 мм  $q=70 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Определить разность температур на поверхностях стенки и численные значения градиента температуры в стенке, если она выполнена: а) из латуни [ $\lambda=70 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ]; б) из красного кирпича [ $\lambda=0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ]; в) из пробки [ $\lambda=0,07 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ].
3. Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной 5 м, высотой 4 м и толщиной 0,25 м, если температуры на поверхности стенки поддерживаются 110°C и 40°C. Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$
4. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при ее толщине 40 мм и разности температур на поверхностях 20°C плотность теплового потока  $145 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .
5. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали  $450 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Температура поверхности под изоляцией 450°C, внешней поверхности 50°C. Определить толщину изоляции для двух случаев: а) изоляция выполнена из совелита, для которого  $\lambda=0,09+0,0000874t$ ; б) изоляция выполнена из асботермита, для которого  $\lambda=0,109+0,000146t$ .
6. Температуры на поверхностях шамотной стенки, толщина которой 200 мм, равны 1000°C и 200°C. Коэффициент теплопроводности шамота изменяется в зависимости от температуры по уравнению  $\lambda=0,813+0,000582t$ . Показать, что плотность теплового потока в случае линейной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры может быть вычислена по формуле для постоянного коэффициента теплопроводности, взятого при средней температуре стенки. Найти ошибку в определении температуры в точках  $x=57,5$ ; 110 и 157,5 мм, если вычисления производятся по значению коэффициента теплопроводности, среднему для заданного интервала температур, и построить график распределения температуры в стенке.
7. Плоская стенка бака площадью  $5 \text{ м}^2$  покрыта двухслойной тепловой изоляцией. Стенка бака стальная, толщиной 8 мм, с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1=46,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ . Первый слой изоляции выполнен из новоасбозурита толщиной 50 мм, коэффициент теплопроводности которого определяется уравнением  $\lambda_2=0,144+0,00014t$ . Второй слой изоляции толщиной 10 мм представляет собой

штукатурку (известковую), коэффициент теплопроводности которой  $\lambda_1=0,698$  Вт/(м·°С). Температуры внутренней поверхности стенки бака 250°С, внешней поверхности изоляции 50°С. Вычислить количество теплоты, передаваемой через стенку, температуры на границах слоев изоляции и построить график распределения температуры.

## 2. Комплекты оценочных средств

**2.1. Вопросы к собеседованию** по лекционному материалу на темы «*Основные понятия. Идеальные газы и их смеси. Реальные газы; Водяной пар. Первый закон термодинамики; Второй закон термодинамики. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа; Термодинамика газового потока; Термодинамические циклы энергетических установок*»:

- Основные понятия. Нормальные условия. Термодинамическая система
- Параметры состояния газа. Уравнение состояния. Идеальные газы. Основные газовые законы. Свойства реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса
- Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Уравнение состояния смеси и расчет долей компонентов и теплоемкости смеси
- Теплоемкость газов. Истинная и средняя теплоемкости. Зависимость теплоемкости от температуры и характера процесса
- Термодинамический процесс. Первый закон термодинамики, энтальпия
- Изменение внутренней энергии и работа газа в термодинамическом процессе. Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа
- Процесс парообразования. Водяной пар и его свойства
- Второй закон термодинамики. Циклы теплового двигателя и холодильной машины (круговые процессы)
- Энтропия. Закон возрастания энтропии. Работоспособность. (Гипотеза тепловой смерти Вселенной)
- $Ts$  – диаграмма термодинамических процессов
- Термодинамика потока газа или пара. Скорость и расход газа при течении
- Критическое сечение. Дросселирование газов и паров
- Критическая скорость истечения газов. Сопло Лавалья
- Идеальные циклы теплового двигателя (Карно) и холодильной машины
- КПД и холодильный коэффициент тепловых установок
- Цикл Аткинсона. Цикл Брайтона/Джоуля. Обратный цикл Брайтона
- Цикл Дизеля. Цикл Ленуара. Цикл Миллера. Цикл Отто
- Цикл Ренкина. Цикл Стирлинга. Цикл Тринклера. Цикл Хамфри
- Циклы компрессорных машин и поршневых двигателей внутреннего сгорания
- Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей
- Жидкостные реактивные двигатели
- Воздушно-реактивные двигатели
- Схема и  $pV$  - диаграмма поршневого компрессора

**На собеседовании задается три вопроса. Критерии формирования оценок по результатам собеседования:**

- «**неудовлетворительно**» - обучающийся не ответил правильно ни на один вопрос;
- «**удовлетворительно**» - обучающийся развернуто и правильно ответил на один вопрос.
- «**хорошо**» - обучающийся развернуто и правильно ответил на два вопроса.
- «**отлично**» - обучающийся развернуто и правильно ответил на три вопроса.

**Вопросы к собеседованию** по лекционному материалу на темы «*Основные понятия и определения теории теплообмена; Теплоотдача и теплопроводность; Конвективный теплообмен в однородной среде; Теплообмен при фазовых превращениях; Теплообмен излучением; Организация и расчет тепловой защиты поверхностей*»:

- Виды теплообмена. Основные законы термодинамики и теплопередачи
- Теплопроводность плоской однослойной и многослойной стенок
- Теплопроводность цилиндрической однослойной и многослойной стенок
- Теплопроводность шаровой стенки; круглого стержня и трубы с внутренним источником теплоты
- Дифференциальные уравнения теплоотдачи и теплопроводности
- Дифференциальные уравнения массообмена, движения и сплошности
- Граничные условия I, II, III, IV рода
- Теплопроводность и теплопередача при стационарном режиме
- Теплопроводность и теплопередача при нестационарном режиме
- Конвективный теплообмен. Основные понятия, число Рейнольдса и закон Ньютона-Рихмана
- Коэффициент теплоотдачи
- Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции
- Теплообмен при кипении и конденсации
- Теплообмен при движении среды с большой скоростью
- Гипотеза пограничного слоя и уравнение теплоотдачи в пограничном слое
- Теплообмен излучением. Коэффициенты отражения, поглощения и проницаемости
- Законы теплового излучения Планка, Вина
- Законы теплового излучения Стефана–Больцмана, Кирхгофа
- Тепловое излучение газов и смесей
- Температурные поля в конструкциях летательных аппаратов
- Организация и расчет тепловой защиты поверхностей
- Лучистый теплообмен методы тепловой защиты поверхностей
- Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача через стенку
- Тепловая изоляция

**На собеседовании задается три вопроса. Критерии формирования оценок по результатам собеседования:**

- «**неудовлетворительно**» - обучающийся не ответил правильно ни на один вопрос;
- «**удовлетворительно**» - обучающийся развернуто и правильно ответил на один вопрос.
- «**хорошо**» - обучающийся развернуто и правильно ответил на два вопроса.
- «**отлично**» - обучающийся развернуто и правильно ответил на три вопроса.

## **2.2. Варианты заданий для контрольных работ**

**2.1. Вопросы к собеседованию** по лекционному материалу на темы «*Основные понятия. Идеальные газы и их смеси. Реальные газы; Водяной пар. Первый закон термодинамики; Второй закон термодинамики. Термодинамические процессы изменения состояния идеального газа; Термодинамика газового потока; Термодинамические циклы энергетических установок*»:

- Основные понятия. Нормальные условия. Термодинамическая система

- Параметры состояния газа. Уравнение состояния. Идеальные газы. Основные газовые законы. Свойства реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса
- Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Уравнение состояния смеси и расчет долей компонентов и теплоемкости смеси
- Теплоемкость газов. Истинная и средняя теплоемкости. Зависимость теплоемкости от температуры и характера процесса
- Термодинамический процесс. Первый закон термодинамики, энтальпия
- Изменение внутренней энергии и работа газа в термодинамическом процессе. Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа
- Процесс парообразования. Водяной пар и его свойства
- Второй закон термодинамики. Циклы теплового двигателя и холодильной машины (круговые процессы)
- Энтропия. Закон возрастания энтропии. Работоспособность. (Гипотеза тепловой смерти Вселенной)
- $Ts$  – диаграмма термодинамических процессов
- Термодинамика потока газа или пара. Скорость и расход газа при течении
- Критическое сечение. Дросселирование газов и паров
- Критическая скорость истечения газов. Сопло Лавалья
- Идеальные циклы теплового двигателя (Карно) и холодильной машины
- КПД и холодильный коэффициент тепловых установок
- Цикл Аткинсона. Цикл Брайтона/Джоуля. Обратный цикл Брайтона
- Цикл Дизеля. Цикл Ленуара. Цикл Миллера. Цикл Отто
- Цикл Ренкина. Цикл Стирлинга. Цикл Тринклера. Цикл Хамфри
- Циклы компрессорных машин и поршневых двигателей внутреннего сгорания
- Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей
- Жидкостные реактивные двигатели
- Воздушно-реактивные двигатели
- Схема и  $pV$  - диаграмма поршневого компрессора

**На собеседовании задается три вопроса. Критерии формирования оценок по результатам собеседования:**

- «неудовлетворительно» - обучающийся не ответил правильно ни на один вопрос;
- «удовлетворительно» - обучающийся развернуто и правильно ответил на один вопрос.
- «хорошо» - обучающийся развернуто и правильно ответил на два вопроса.
- «отлично» - обучающийся развернуто и правильно ответил на три вопроса.

### **Контрольная работа 1**

#### Вариант 1

1. Основные понятия. Нормальные условия. Идеальные газы
2. Решить задачу: Манометр, установленный в открытой кабине самолета, находящегося на земле, показывает давление масла  $6 \text{ кгс/см}^2$  при показании барометра  $752 \text{ мм рт. ст.}$  Каковы будут показания манометра после подъема самолета на некоторую высоту, где атмосферное давление будет равно  $442,5 \text{ мм рт. ст.}$ ? Чему будет соответствовать это значение в системе СИ?

#### Вариант 2



1. Основные газовые законы. Свойства реальных газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса
2. Решить задачу: В машинном зале электростанции работают три турбины разных производителей. Манометры, установленные на их конденсаторах, показывают абсолютные давления  $p_1 = 2,94$  кПа;  $p_2 = 3,923$  кН/м<sup>2</sup> и  $p_3 = 0,711$  lbf/in<sup>2</sup>. Определить величины вакуумов в процентах барометрического давления, если барометр в машинном зале показывает 753 мм рт. ст.

## Контрольная работа 2

### Вариант 1

1. Термодинамический процесс. Первый закон термодинамики, энтальпия
2. Решить задачу: Воздушный компрессор сжимает 129 кг/ч воздуха. Установлено, что при сжатии энтальпия воздуха увеличивается на 17 МДж/ч, а энтальпия охлаждающей компрессор воды – на 10 МДж/ч. Найти мощность привода компрессора, пренебрегая потерями и изменениями кинетической и потенциальной энергии

### Вариант 2

1. Второй закон термодинамики. Циклы теплового двигателя и холодильной машины
2. Решить задачу: Баллон с водородом объемом 40 л выносится из помещения с температурой 5 °С в машинный зал, где температура достигает 25 °С. Определить изменение энтальпии водорода и количество теплоты, полученной газом после выравнивания температуры, если начальное давление в баллоне составляло 12 МПа.

## Контрольная работа 3

### Вариант 1

1. КПД и холодильный коэффициент тепловых установок
2. Решить задачу: Двухатомный газ, для которого газовая постоянная 296,9 Дж/(кг·К), имея на входе в суживающееся сопло параметры: полное давление 6,4 МПа и температура торможения 300 К, вытекает в среду, где давление 4,5 МПа. Определить скорость истечения и секундный расход газа, если диаметр выходного отверстия равен 5 мм. Истечение считать изоэнтальпийным.

### Вариант 2

1. Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей
2. Решить задачу: Определить секундный массовый расход окиси углерода и скорость истечения из суживающегося сопла, если известно, что на входе в сопло газ имеет параметры: полное давление 0,5 МПа и температура торможения 680 °С. Давление среды, в которую газ вытекает, 0,3 МПа. Площадь выходного сечения сопла 1 см<sup>2</sup>. Коэффициент скорости равен единице. Подсчитать скорость звука в выходном сечении.

## Контрольная работа 4

### Вариант 1

3. Основные понятия и определения теории теплообмена. Виды теплообмена
4. Решить задачу: Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали [ $\lambda=40 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]; б) из бетона [ $\lambda=1,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]; в) из диатомитового кирпича [ $\lambda=0,11 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]. Во всех трех случаях толщина стенки 50 мм. Температуры на поверхности стенки поддерживаются постоянными:  $100^\circ\text{C}$  и  $90^\circ\text{C}$ .

### Вариант 2

3. Теплопроводность плоской однослойной и многослойной стенок
4. Решить задачу: Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной 50 мм  $q=70 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Определить разность температур на поверхностях стенки и численные значения градиента температуры в стенке, если она выполнена: а) из латуни [ $\lambda=70 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]; б) из красного кирпича [ $\lambda=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ]; в) из пробки [ $\lambda=0,07 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ].

## Контрольная работа 5

### Вариант 1

3. Конвективный теплообмен. Основные понятия, число Рейнольдса и закон Ньютона-Рихмана
4. Решить задачу: Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при ее толщине 40 мм и разности температур на поверхностях  $20^\circ\text{C}$  плотность теплового потока  $145 \text{ Вт}/\text{м}^2$ .

### Вариант 2

3. Теплообмен при движении среды с большой скоростью
4. Решить задачу: Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной 5 м, высотой 4 м и толщиной 0,25 м, если температуры на поверхности стенки поддерживаются  $110^\circ\text{C}$  и  $40^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$

## Контрольная работа 6

### Вариант 1

3. Теплообмен излучением. Коэффициенты отражения, поглощения и проницаемости
4. Решить задачу: Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали  $450 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Температура поверхности под изоляцией  $450^\circ\text{C}$ , внешней поверхности  $50^\circ\text{C}$ . Определить толщину изоляции для двух случаев: а) изоляция выполнена из совелита, для которого  $\lambda=0,09+0,0000874t$ ; б) изоляция выполнена из асботермита, для которого  $\lambda=0,109+0,000146t$ .

## Вариант 2

3. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей
4. Решить задачу: Плоская стенка бака площадью  $5 \text{ м}^2$  покрыта двухслойной тепловой изоляцией. Стенка бака стальная, толщиной 8 мм, с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1=46,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Первый слой изоляции выполнен из новоасбозурита толщиной 50 мм, коэффициент теплопроводности которого определяется уравнением  $\lambda_2=0,144+0,00014t$ . Второй слой изоляции толщиной 10 мм представляет собой штукатурку (известковую), коэффициент теплопроводности которой  $\lambda_1=0,698 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температуры внутренней поверхности стенки бака  $250^\circ\text{C}$ , внешней поверхности изоляции  $50^\circ\text{C}$ . Вычислить количество теплоты, передаваемой через стенку, температуры на границах слоев изоляции и построить график распределения температуры.

### 2.3. Темы для самостоятельной работы

**Варианты заданий для самостоятельной работы: поиск учебных пособий по данному материалу, подготовка презентации и доклада (зачет)**

1. Предмет и история развития термодинамики. Основные понятия. Термодинамические параметры состояния газа. Уравнение состояния. Идеальные газы
2. Основные газовые законы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Смеси идеальных газов. Закон Дальтона. Уравнение состояния смеси и расчет долей компонентов и теплоемкости смеси
3. Теплоемкость газов. Истинная и средняя теплоемкости. Зависимость теплоемкости от температуры и характера процесса. Термодинамический процесс. Первый закон термодинамики, энтальпия
4. Изменение внутренней энергии и работа газа в термодинамическом процессе. Водяной пар и его свойства
5. Основные термодинамические процессы (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный)
6. Второй закон термодинамики. Энтропия и закон ее возрастания. Работоспособность.  $Ts$  – диаграмма термодинамических процессов
7. Термодинамика потока газа или пара. Уравнение первого закона термодинамики для движущегося газа. Скорость и расход газа при течении
8. Критическое сечение. Дросселирование газов и паров
9. Циклы теплового двигателя и холодильной машины. Идеальные циклы (Карно). КПД и холодильный коэффициент тепловых установок
10. Циклы компрессорных машин и поршневых двигателей внутреннего сгорания. Термодинамические циклы Аткинсона, Брайтона/Джоуля; Дизеля, Ленуара, Миллера, Отто, Ренкина, Стирлинга, Тринклера и Хамфри
11. Циклы газотурбинных установок и реактивных двигателей. Жидкостные реактивные двигатели. Воздушно-реактивные двигатели

**Варианты заданий для самостоятельной работы: поиск учебных пособий по данному материалу, подготовка презентации и доклада (экзамен)**

12. Основные понятия и определения теории теплообмена. Виды теплообмена. Основные законы термодинамики и теплопередачи
13. Теплопроводность плоской, цилиндрической и шаровой стенок; круглого стержня и трубы с внутренним источником теплоты

14. Дифференциальные уравнения теплоотдачи и теплопроводности, массообмена, движения и сплошности, граничные условия I, II, III, IV рода
15. Теплопроводность и теплопередача при стационарном и нестационарном режиме
16. Конвективный теплообмен, закон Ньютона-Рихмана. Коэффициент теплоотдачи
17. Основы теории подобия физических явлений. Критериальные числа подобия (Нуссельта, Рейнольдса, Прандтля, Грасгофа, Пекле, Фурье)
18. Теплообмен при свободной и вынужденной конвекции. Теплообмен при кипении и конденсации
19. Гипотеза пограничного слоя и уравнение теплоотдачи в пограничном слое
20. Теплообмен излучением. Радиационные характеристики тел. Законы теплового излучения (Планка, Вина, Стефана–Больцмана, Кирхгофа)
21. Теплообмен излучением абсолютно черных и реальных тел. Тепловое излучение газов и смесей
22. Температурные поля в конструкциях летательных аппаратов. Организация и расчет тепловой защиты поверхностей
23. Теплопередача. Сложный теплообмен. Теплопередача через стенку. Тепловая изоляция

### **3 Шкалы оценивания**

#### **3.1. Критерии формирования оценок на зачете**

Оценку «зачтено» за контрольную работу (работы) обучающийся получает при правильном выполнении не менее 80% заданий.

Допущенным к зачету считается обучающийся:

- имеющий конспект 100% лекций;
- выполнивший все практические задания;
- выполнивший все лабораторные задания;
- выполнивший все контрольные работы;
- получивший «удовлетворительно» и выше оценку на собеседовании;
- выполнивший презентацию и сделавший доклад о выполнении самостоятельной работы.

На зачете задается три вопроса. Оценки «Зачтено» заслуживает обучающийся, который развернуто и правильно ответил на два вопроса или ответил на три вопроса с небольшими погрешностями или наводящими вопросами.

#### **Критерии формирования оценок на экзамене**

Оценку «зачтено» за контрольную работу (работы) обучающийся получает при правильном выполнении не менее 80% заданий.

Допущенным к экзамену считается обучающийся:

- имеющий конспект 100% лекций;
- выполнивший все практические задания;
- выполнивший все лабораторные задания;
- выполнивший все контрольные работы;
- получивший «удовлетворительно» и выше оценку на собеседовании;

- выполнивший презентацию и сделавший доклад о выполнении самостоятельной работы.

На экзамене студент вытягивает билет, в котором два вопроса и задача.

Критерии оценки экзамена:

- **«неудовлетворительно»** - студент не ответил ни на один вопрос и не решил задачу;
- **«удовлетворительно»** - студент решил задачу и ответил, неполно, не менее, чем на один вопрос;
- **«хорошо»** - студент решил задачу и развернуто и правильно ответил не менее, чем на один вопрос;
- **«отлично»** - студент решил задачу и развернуто и правильно ответил на оба вопроса

#### **4. Методические материалы, характеризующие этапы формирования компетенций**

1. Карташов Э.М., Кудинов В.А., Стефанюк Е.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М.: Юрайт-Издат, 2011. 559 с.
2. Григорьев Б.А., Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. М: МЭИ, 2005. 550 с.
3. Карминский В.Д. Техническая термодинамика и теплопередача. М: Маршрут, 2005. 224 с.
4. Ерохин В.Г., Маханько М.Г., Самойленко П.И. Основы термодинамики и теплотехники. М.: Машиностроение, 1980. 224 с.
5. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., перераб. М.: Энергия, 1980. 288 с.
6. Афанасьев В.Н., Афонин А.А., Исаев С.И. и др. Лабораторный практикум по термодинамике и теплопередаче: Учеб. пособие вузов / Под ред. В.И. Крутова, Е.В. Шишова. М.: Высш. шк., 1988. 216 с.