

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт машиностроения и автомобильного транспорта

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
А. И. Елкин  
« 30 » « 08 » 2022 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Термодинамика»**

направление подготовки / специальность

13.03.03 – энергетическое машиностроение

направленность (профиль) подготовки

Двигатели внутреннего сгорания

г. Владимир

Год  
2022

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Термодинамика» является:

- изучение фундаментальных законов термодинамики, особенностей рабочих тел и термодинамических процессов;
- изучение параметров, позволяющих дать качественную и количественную характеристику термодинамических процессов;
- формирование навыков термодинамического анализа процессов в машинах и аппаратах, их агрегатах и узлах, в окружающей среде;
- изучение основных термодинамических закономерностей процессов, протекающих в тепловых двигателях и холодильных установках.

Задачи:

- ознакомить студентов с параметрами, характеризующими состояние рабочих тел, указать на взаимосвязи между параметрами состояния;
- сформировать навыки использования законов преобразования энергии при проектировании и совершенствовании энергетических установок;
- дать представление о термодинамических основах рабочих циклов тепловых двигателей и холодильных установок;
- обучить студентов основам оценки эффективности энергетических машин и установок.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.О.20 «Термодинамика» относится к базовой части блок Б1 структуры программы бакалавриата.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции <i>(код, содержание индикатора)</i>	Результаты обучения по дисциплине	
ОПК-3. Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.1. Знает соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач. ОПК-3.2. Умеет использовать соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач. ОПК-3.3. Владеет соответствующим физико-математическим аппаратом,	<b>Знает</b> законы термодинамики, основные закономерности термодинамических процессов в энергетических установках. <b>Умеет</b> решать отдельные тепловые задачи применительно к различным элементам энергоустановок, анализировать протекание рабочих процессов в соответствии с современными представлениями. <b>Владеет</b> термодинамическими расчётами с применением справочной литературы,	Выполнение курсовой работы по дисциплине

	методами анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач.	современным физико-математическим аппаратом для проведения соответствующих расчётов.	
--	--	--	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 7 зачетных единиц, 252 часа

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	в форме практической подготовки		
1	Предмет и задачи термодинамики, основные понятия и определения	3	1	2				10	
2	Термодинамическое рабочее тело	3	2	2	1	4		10	
3	Первый закон термодинамики, энтропия, эксергия	3	3	2	2			10	
4	Реальные газы, водяной пар	3	4-5	4	2			10	
5	Влажный воздух	3	6	2		6		10	Рейтинг-контроль № 1
6	Термодинамические процессы	3	7-8	4	2	8		10	
7	Второй закон термодинамики	3	9-10	4	1			20	
8	Термодинамика потока, первый закон термодинамики для газового потока	3	11-12	4	2			10	Рейтинг-контроль № 2
9	Сжатие газов в компрессорах	3	13	2	2			10	
10	Циклы поршневых двигателей и газотурбинных установок	3	14-15	4	2			33	
11	Циклы паросиловых установок	3	16-17	4	2			10	
12	Циклы холодильных установок, тепловые насосы	3	18	2	2			10	Рейтинг-контроль № 3
Всего за 3 семестр:				36	18	18		153	Экзамен (27)
Наличие в дисциплине КП/КР									КР
Итого по дисциплине				36	18	18		153	Экзамен (27), КР

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Предмет и задачи термодинамики, основные понятия и определения

Тема 1. Предмет термодинамики

Содержание темы: Место термодинамики в системе современного естествознания.

Краткий очерк истории развития. Связь термодинамики с другими естественно-научными дисциплинами. Специальные разделы термодинамики и решаемые с их помощью задачи.

Тема 2. Основные определения

Содержание темы: Рабочее тело. Термодинамическая система: виды, свойства, характеристики. Окружающая среда.

Тема 3. «Нулевое» начало термодинамики

Содержание темы: Тепловое равновесие. Формулировка «нулевого» начала термодинамики.

Раздел 2. Термодинамическое рабочее тело

Тема 1. Параметры состояния

Содержание темы: Определение. Экстенсивные и интенсивные параметры состояния. Системы единиц измерения.

Тема 2. Температура

Содержание темы: Определение. Единицы измерения. Способы измерения.

Тема 3. Удельный объём

Содержание темы: Определение. Единицы измерения. Способы измерения. Удельный объём и плотность.

Тема 4. Давление

Содержание темы: Определение. Единицы измерения. Способы измерения.

Абсолютное давление, избыточное давление и разрежение.

Тема 5. Идеальный газ

Содержание темы: Определение. Свойства идеального газа.

Тема 6. Уравнения состояния идеального газа

Содержание темы: Уравнение Клапейрона и его вывод. Газовая постоянная, физический смысл газовой постоянной. Закон Авогадро. Уравнение Менделеева-Клапейрона и его вывод. Универсальная газовая постоянная.

Тема 7. Теплоёмкость газов

Содержание темы: Определение. Виды теплоёмкости. Связь между удельными массовой, объёмной и мольной теплоёмкостями. Уравнение Майера.

Тема 8. Смеси газов

Содержание темы: Определение. Свойства. Закон Дальтона. Способы задания. Газовая постоянная и кажущийся молекулярный вес смеси. Переход от задания смеси массовыми долями к объёмным и наоборот.

Раздел 3. Первый закон термодинамики, энтропия, эксергия

Тема 1. Внутренняя энергия

Содержание темы: Внутренняя энергия. Составляющие. Нулевая внутренняя энергия. Внутренняя энергия как параметр состояния. Изменение внутренней энергии в произвольном термодинамическом процессе. Изменение внутренней энергии в круговом термодинамическом процессе.

Тема 2. Работа газа

Содержание темы: Работа изменения объёма. Располагаемая работа. Обратимые и необратимые процессы. Графический эквивалент работы.

Тема 3. Энтальпия

Содержание темы: Определение. Энтальпия как параметр состояния. Изменение энтальпии в произвольном термодинамическом процессе. Изменение энтальпии в круговом термодинамическом процессе.

Тема 4. Первый закон термодинамики

Содержание темы: Определение. Аналитическая формулировка. Вечные двигатели первого рода.

Тема 5. Энтропия

Содержание темы: Определение. Энтропия как параметр состояния. Изменение энтропии в произвольном термодинамическом процессе. Изменение энтропии в круговом термодинамическом процессе. Вычисление изменения энтропии в произвольном термодинамическом процессе.

Тема 6. Эксергия

Содержание темы: Определение. Вычисление эксергии рабочего тела. Эксергетический анализ.

Раздел 4. Реальные газы, водяной пар

Тема 1. Реальные газы

Содержание темы: Коэффициент сжимаемости. Отличие реальных газов от идеального. Вириальное уравнение.

Тема 2. Уравнение Ван-дер-Ваальса

Содержание темы: Свойства Ван-дер-Ваальсова газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Анализ уравнения Ван-дер-Ваальса. Критические параметры состояния, их связь с коэффициентами уравнения Ван-дер-Ваальса. Приведённые параметры состояния, приведённое уравнение состояния. Закон соответственных состояний и следствия из него. Критический коэффициент и качественный характер уравнения Ван-дер-Ваальса.

Тема 3. Универсальное уравнение состояния

Содержание темы: Уравнения состояния, построенные на основе уравнения Ван-дер-Ваальса. Уравнение Вуколовича-Новикова, его свойства.

Тема 4. Водяной пар

Содержание темы: Парообразование. Конденсация. Теплота парообразования. Параметры состояния водяного пара. Энтальпия водяного пара.  $is$ -диаграмма водяного пара.

Раздел 5. Влажный воздух

Тема 1. Определение и свойства

Содержание темы: Определение. Абсолютная влажность. Относительная влажность. Парциальное давление водяного пара. Закон Дальтона для влажного воздуха. Влагосодержание. Температура «точки росы».

Тема 2.  $id$ -диаграмма влажного воздуха

Содержание темы: Вид  $id$ -диаграммы. Информация, представленная на  $id$ -диаграмме. Использование  $id$ -диаграммы для определения состояния влажного воздуха.

Раздел 6. Термодинамические процессы

Тема 1. Процессы идеального газа

Содержание темы: Изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный и политропный процессы.

Тема 2. Процессы водяного пара

Содержание темы: Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы.

Раздел 7. Второй закон термодинамики

Тема 1. Второй закон термодинамики

Содержание темы: Определение. Вечный двигатель второго рода. Круговые термодинамические процессы. Циклы тепловых двигателей, термический КПД. Циклы холодильных установок, холодильный коэффициент.

Тема 2. Цикл Карно

Содержание темы: Прямой цикл Карно. КПД цикла Карно. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент обратного цикла Карно. Теорема Карно.

Тема 3.

Содержание темы: Аналитическое выражение второго закона термодинамики

Приведённая теплота. Алгебраическая сумма приведённых теплот обратимого цикла Карно. Первый интеграл Клаузиуса. Алгебраическая сумма приведённых теплот необратимого цикла Карно. Второй интеграл Клаузиуса. Обобщённый интеграл Клаузиуса.

Раздел 8. Термодинамика потока, первый закон термодинамики для газового потока

Тема 1. Первый закон термодинамики для потока идеального газа

Содержание темы: Определение. Уравнение неразрывности. Работа проталкивания.

Сопла и диффузоры. Адиабатное истечение. Скорость истечения несжимаемой жидкости. Скорость истечения газа. Местная скорость звука. Критическое истечение, гипотеза Сен-Венана – Ванцеля. Массовый расход газа, сопло минимального сечения.

Тема 2. Сопло Лаваля

Содержание темы: Организация истечения газов со скоростью выше критической.

Геометрия сопла Лаваля. Расчёт истечения газа через сопло Лаваля.

Тема 3. Дросселирование газов и паров

Содержание темы: Определение процесса дросселирования. Эффект Джоуля-Томпсона.

Дросселирование Ван-дер-Ваальсова газа. Дросселирование водяного пара.

Тема 4. Смешение газов

Содержание темы: Смешение при постоянном объёме. Смешение газовых потоков.

Смешение при наполнении резервуара. Энтропия смешения.

Раздел 9. Сжатие газов в компрессорах

Тема 1. Конструкция компрессоров

Содержание темы: Определение компрессора. Центробежные и поршневые компрессоры.

Тема 2. Термодинамические основы сжатия газов в компрессорах

Содержание темы: Процессы в идеальном компрессоре. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Работа сжатия газа в компрессоре. Сжатие в реальном компрессоре. Объёмный КПД, коэффициент наполнения, адиабатный КПД компрессора. Мощность на привод компрессора.

Тема 3. Многоступенчатое сжатие

Содержание темы: Схема многоступенчатого компрессора. Промежуточное охлаждение. Термодинамические процессы многоступенчатого сжатия. Мощность на привод многоступенчатого компрессора.

Раздел 10. Циклы поршневых двигателей и газотурбинных установок

Тема 1. Циклы поршневых двигателей

Содержание темы: Цикл с подводом теплоты при постоянном объёме рабочего тела.

Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении рабочего тела. Цикл со смешанным подводом теплоты.

Тема 2. Циклы газотурбинных установок

Содержание темы: Цикл подводом теплоты при постоянном давлении рабочего тела.

Цикл с подводом теплоты при постоянном объёме рабочего тела. Регенеративный цикл ГТУ. Циклы реактивных двигателей.

Тема 3. Обобщённый цикл двигателя внутреннего сгорания

Содержание темы: Обобщённый цикл. Анализ обобщённого цикла.

Раздел 11. Циклы паросиловых установок

Тема 1. Циклы паротурбинных установок

Содержание темы: Цикл Карно. Цикл Ренкина. Цикл со вторичным перегревом пара.

Регенеративный цикл.

Тема 2. Бинарные циклы

Содержание темы: Бинарный цикл паротурбинной установки. Парогазовый цикл. Цикл магнетогидродинамического генератора.

Тема 3. Циклы атомных электростанций

Содержание темы: Устройство атомной электростанции. Циклы атомных электростанций. Методы повышения КПД циклов атомных электростанций.

Тема 4. Основы теплофикации  
 Содержание темы: Теплофикация. Коэффициент использования теплоты ТЭЦ.  
 Способы увеличения коэффициента использования теплоты.  
 Раздел 12. Циклы холодильных установок, тепловые насосы  
 Тема 1. Холодильные установки  
 Содержание темы: Газовые холодильные установки. Пароэжекторные холодильные установки. Абсорбционные холодильные установки. Компрессорные холодильные установки.  
 Тема 2. Глубокое охлаждение  
 Содержание темы: Установки глубокого охлаждения. Тепловая теорема Нернста.  
 Третий закон термодинамики. Вечный двигатель третьего рода.  
 Тема 3. Тепловые насосы  
 Содержание темы: Термодинамические основы работы тепловых насосов.  
 Отопительный коэффициент.

### Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 2. Термодинамическое рабочее тело  
 Тема 2. Температура  
 Понятие температуры, её свойства, единицы измерения и их преобразование. Решение задач.  
 Тема 3. Удельный объём  
 Понятие удельного объёма, его связь с плотностью, единицы измерения. Решение задач.  
 Тема 4. Давление  
 Понятие давления, единицы измерения и их преобразование. Атмосферное давление, избыточное давление и разрежение. Абсолютное давление. Решение задач.  
 Тема 5. Идеальный газ  
 Свойства идеального газа, отличия идеального газа от реального.  
 Тема 6. Уравнения состояния идеального газа  
 Уравнение Клапейрона и Менделеева-Клапейрона. Газовая постоянная и Универсальная газовая постоянная. Решение задач.  
 Тема 7. Теплоёмкость газов  
 Понятие теплоёмкости. Удельная массовая, объёмная и мольная теплоёмкость. Изохорная и изобарная теплоёмкость. Уравнение Майера и следствия из него. Решение задач.  
 Тема 8. Смеси газов  
 Массовые и объёмные доли. Газовая постоянная и кажущаяся молекулярная масса смеси.  
 Закон Дальтона. Решение задач.  
 Раздел 3. Первый закон термодинамики, энтропия, эксергия  
 Тема 1. Внутренняя энергия  
 Изменение внутренней энергии идеального газа. Решение задач.  
 Тема 2. Работа газа  
 Вычисление работы изменения объёма и располагаемой работы. Графический эквивалент работы. Решение задач.  
 Тема 3. Энтальпия  
 Расширенная система и её полная энергия. Изменения энтальпии. Решение задач.  
 Тема 4. Первый закон термодинамики  
 Связь между теплотой, внутренней энергией, энтальпией, работой изменения объёма и располагаемой работой. Решение задач.  
 Тема 5. Энтропия  
 Приведённая теплота. Первый и второй интегралы Клаузиуса. Изменение энтропии. Решение задач.  
 Раздел 4. Реальные газы, водяной пар  
 Тема 2. Уравнение Ван-дер-Ваальса

Связь между критическими параметрами состояния и коэффициентами уравнения Ван-дер-Ваальса. Приведённое уравнение состояния и закон соответственных состояний. Решение задач.

Тема 4. Водяной пар

Теплота парообразования. Определение параметров состояния водяного пара и влажного воздуха. Решение задач.

Раздел 6. Термодинамические процессы

Тема 1. Процессы идеального газа

Газовые законы. Изменение параметров состояния идеального газа в изохорном, изобарном, изотермическом и адиабатном процессах. Определение показателя политропы. Вычисление политропной теплоёмкости. Решение задач.

Раздел 7. Второй закон термодинамики

Тема 2. Цикл Карно

КПД цикла Карно. Холодильный коэффициент обратного цикла Карно. Решение задач.

Раздел 8. Термодинамика потока, первый закон термодинамики для газового потока

Тема 1. Первый закон термодинамики для потока идеального газа

Подкритическое, критическое и надкритическое истечение. Местная скорость звука.

Массовый расход рабочего тела через сечение. Решение задач.

Тема 2. Сопло Лаваля

Геометрические характеристики сопла Лаваля. Скорость истечения и расход газа через сопло Лаваля. Решение задач.

Тема 3. Дросселирование газов и паров

Кривая инверсии Ван-дер-Ваальсова газа. Вычисление эффекта Джоуля-Томпсона при дросселировании. Изменение температуры рабочего тела при дросселировании Ван-дер-Ваальсова газа. Изменение состояния водяного пара при его мятии. Решение задач.

Тема 4. Смешение газов

Вычисление параметров газовых смесей при смешении в постоянном объёме, смешении потоков и наполнении резервуара. Вычисление энтропии смешения. Решение задач.

Раздел 9. Сжатие газов в компрессорах

Тема 2. Термодинамические основы сжатия газов в компрессорах

Определение параметров сжатого газа и объёмной подачи компрессора. Влияние объёмного КПД и коэффициента наполнения на мощность на привод компрессора. Решение задач.

Тема 3. Многоступенчатое сжатие

Определение количества отводимой при многоступенчатом сжатии теплоты. Вычисление мощности на привод компрессора при многоступенчатом сжатии. Решение задач.

Раздел 10. Циклы поршневых двигателей и газотурбинных установок

Тема 1. Циклы поршневых двигателей

Параметры состояния в характерных точках цикла, работа, термический КПД и среднее индикаторное давление циклов поршневых ДВС с изохорным, изобарным и смешанным подводом теплоты. Решение задач.

Тема 2. Циклы газотурбинных установок

Параметры состояния в характерных точках цикла и термический КПД циклов газотурбинных установок с изобарным и изохорным подводом теплоты. Решение задач.

Раздел 11. Циклы паросиловых установок

Тема 1. Циклы паротурбинных установок

Использование  $i$ -диаграммы водяного пара при расчёте циклов паротурбинных установок. Термический КПД циклов Ренкина, цикла со вторичным перегревом пара, регенеративного цикла. Теоретический расход пара. Решение задач.

Раздел 12. Циклы холодильных установок, тепловые насосы

Тема 1. Холодильные установки

Холодильный коэффициент газовых и паровых компрессорных холодильных установок. Затраты мощности на привод холодильных установок. Решение задач.



Тема 3. Тепловые насосы

Отопительный коэффициент теплового насоса. Затраты мощности на привод теплового насоса. Решение задач.

### Содержание лабораторных занятий по дисциплине

Раздел 2. Термодинамическое рабочее тело

Тема 7. Теплоёмкость газов

Определение изобарной теплоёмкости воздуха

Раздел 5. Влажный воздух

Тема 2.  $i$ -диаграмма влажного воздуха

Исследование процессов во влажном воздухе

Раздел 6. Термодинамические процессы

Тема 1. Процессы идеального газа

Лабораторные работы выполняются в специализированной лаборатории кафедры. Для их выполнения на кафедре выпущено учебно-методическое пособие. После выполнения лабораторной работы студенты оформляют отчет и защищают выполненную работу преподавателю.

## 5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

**5.1. Текущий контроль успеваемости** (*рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3*)

### Тесты к рейтинг-контролю 1

**1. Какое давление используется в формулах термодинамики?**

- А. Манометрическое
- Б. Абсолютное
- В. Барометрическое

**2. Какие из указанных физических величин являются параметрами состояния рабочего тела?**

- А.  $P$ ;
- Б.  $v$
- В.  $V$
- Г.  $I, (h)$
- Д.  $s$

**3. Укажите уравнение состояния рабочего тела для одного килограмма рабочего тела**

- А.  $PV = mRT$
- Б.  $pv = RT$
- В.  $\frac{dT}{T} = \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p}$

**4. Что называется теплоёмкостью газа?**

- А. Количество теплоты, необходимое для нагрева единицы вещества на один градус
- Б. Количество теплоты, необходимое для нагрева единицы массы вещества на один градус
- В. Количество теплоты, необходимое для нагрева единицы объёма газа на один градус

**5. Как записывается уравнение Майера для массовой теплоёмкости?**

- А.  $\mu C_p - \mu C_v = \mu R$
- Б.  $C_p - C_v = R$

$$B. C_p^l - C_v^l = \rho R$$

6. Укажите закон Дальтона для газовой смеси

$$A. g_1 + g_2 + \dots + g_n = 1$$

$$B. p = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum_1^n p_i$$

$$B. m_1 + m_2 + \dots + m_n = m$$

7. Дать определения идеального газа

A. Идеальным газом называется газ, полностью подчиняющийся законам Бойля-Мариотта и Гей-Люссака

Б. Идеальным газом называется газ, в котором молекулы взаимодействуют друг с другом

В. Идеальным газом называется газ, в котором учитываются объемы молекул

8. Что понимают под «Внутренней энергией» идеального газа в термодинамике?

A. Кинетическую энергию молекул

Б. Потенциальную энергию молекул

В. Сумму кинетической и потенциальной энергии молекул

9. Укажите универсальную газовую постоянную

$$A. \mu R = 8314 \text{ (Дж/моль}\cdot\text{К)}$$

$$B. R = 287 \text{ (Дж/кг}\cdot\text{К)}$$

$$B. C_o = 5,77 \text{ (Вт/м}^2\text{К}^4)$$

10. Укажите математическое выражение первого закона термодинамики

$$A. \delta q = dU + PdV$$

$$B. \delta q = dh - vdp$$

$$B. dQ_\tau = -\lambda dF dt (dT/dn)$$

11. Укажите размерность массовой теплоемкости.

$$A. \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$$

$$B. \text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$$

$$B. \text{Дж}/(\text{м}^3\text{К})$$

$$Г. \text{Дж}/(\text{кг})$$

12. Укажите уравнение изохорного процесса

$$A. P_1/T_1 = P_2/T_2$$

$$B. V_1/T_1 = V_2/T_2$$

$$B. P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$Г. P_1 V_1^k = P_2 V_2^k$$

13. Укажите уравнение адиабатного процесса

$$A. Pv^k = \text{const}$$

$$B. T/P = \text{const}$$

$$B. PV = \text{const}$$

$$Г. T/V = \text{const}$$

14. Укажите уравнение энтальпии

$$A. ms = pfs_1$$

$$B. dh = \delta q + vdp$$

$$B. ms = pv$$

$$Г. \delta q = dh - vdp$$

15. Укажите уравнение Майера

$$A. C_p - C_v = R$$

$$B. \mu C_p - \mu C_v = \mu R$$

$$B. C_p/C_v = K$$

$$Г. C = C^{\nu}/\rho_o$$

16. Укажите уравнение первого закона термодинамики для изохорного процесса

$$A. \delta q = du - pdv$$

$$B. \delta q = dh - vdp$$

$$B. \delta q = du$$

$$Г. \delta q = dh$$

17. Чему равно изменение энтропии в изобарном процессе?

$$A. S_2 - S_1 = C_p \ln(T_2/T_1)$$

$$B. S_2 - S_1 = C_v \ln(T_2/T_1)$$

$$B. S_2 - S_1 = C_p \ln(V_2/V_1)$$

$$Г. S_2 - S_1 = C_v \ln(P_2/P_1)$$

18. Чему равно изменение энтропии в адиабатном процессе?

$$A. ds = 0$$

$$B. S_2 - S_1 = C_v \ln(T_2/T_1) + R \ln(V_2/V_1)$$

$$B. S_2 - S_1 = R \ln(P_1/P_2)$$

19. Чему равно значение показателя политропы в изотермическом процессе?

$$A. 0$$

$$B. 1$$

$$B. K$$

20. Укажите уравнение энтальпии

$$A. h = u + pv$$

$$B. \oint dh = 0$$

$$B. \delta q = dh - vdp$$

## Тесты к рейтинг-контролю 2

**1. Что называется термическим КПД полезного действия прямого цикла?**

- А. Отношение удельного количества теплоты подведенного к циклу к удельному количеству теплоты, отведенного от цикла
- Б. Отношение удельного количества теплоты, превращенного в положительную удельную работу за один цикл, ко всему удельному количеству теплоты, подведенному к рабочему телу

**2. Чем оценивается степень совершенства обратного цикла?**

- А. Коэффициентом полезного действия
- Б. Холодильным коэффициентом
- В. Термическим КПД

**3. Из каких термодинамических процессов состоит цикл Карно?**

- А. Из двух изохор и двух изотерм
- Б. Из двух изобар и двух политроп
- В. Из двух изотерм и двух адиабат

**4. Указать уравнение для реального газа Ван-дер-Ваальса**

- А.  $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$
- Б.  $pv = mRT$
- В.  $\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT\left(1 - \frac{c}{vT^{\frac{3+2m}{2}}}\right)$

**5. Укажите уравнение Дальтона для влажного воздуха.**

- А.  $d = m_p/m_{cm}$
- Б.  $\varphi = (P_{п}/P_{max})100\%$
- В.  $P = P_{cm} + P_{п}$

**6. Как называется процесс непосредственного перехода твердого вещества в пар?**

- А. десублимацией
- Б. конденсацией
- В. сублимацией

**7. Укажите первый интеграл Клаузиуса**

- А.  $\oint ds = 0$
- Б.  $\oint ds > 0$
- В.  $\oint ds < 0$
- Г.  $\oint ds \leq 0$

**8. Укажите математическое выражение второго закона термодинамики**

- А.  $\oint ds = 0$ .
- Б.  $\oint ds \leq 0$
- В.  $\oint ds \geq 0$
- С.  $\oint ds < 0$

**9. Что называется степенью сухости пара?**

- А. Отношение массы сухого насыщенного пара во влажном к массе влажного пара
- Б. Отношение массы пара во влажном воздухе к массе сухого воздуха
- С. Отношение действительной абсолютной влажности ненасыщенного воздуха к максимально возможной абсолютной влажности воздуха при той же температуре

**10. Укажите первый закон термодинамики для потока газа**

- А.  $\delta q = dh - vdp$
- Б.  $\delta q = du + d\dot{l} + \frac{dw^2}{2}$
- В.  $\delta q = dU + PdV$

**11. Какой канал называется соплом?**

- А. При перемещении газа в канале происходит сначала сжатие, а потом его расширение
- Б. При перемещении газа в канале происходит сжатие с увеличением давления и уменьшением скорости
- В. При перемещении газа в канале происходит его расширение с уменьшением давления и увеличением скорости

**12. Какой канал называется диффузором?**

- А. При перемещении газа в канале происходит сжатие с увеличением давления и уменьшением скорости
- Б. При перемещении газа в канале происходит его расширение с уменьшением давления и увеличением скорости
- В. При перемещении газа в канале происходит сначала сжатие, а потом его расширение

**13. По какой формуле определяют конечную скорость истечения при адиабатном процессе**

А.  $w_2 = \sqrt{2l_{расп} + w_1^2}$

Б.  $w = \sqrt{2v(p_1 - p_2)}$

В.  $w = \sqrt{2(h_1 - h_2)}$

**14. Чему равно критическое давление в выходном сечении суживающегося сопла?**

А.  $p_k = \beta_k p_1$

Б.  $p_k = \frac{p_1}{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k+1}}}$

В.  $p_k = \frac{w_k^2}{k v_k}$

**15. Чему равен угол конусности расширяющейся части сопла Лавалья?**

- А. 16 -20 градусов
- Б. 8 – 12 градусов
- В. 21- 25 градусов

**16. По какой формуле определяется скорость истечения водяного пара из комбинированного сопла?**

А.  $w = 44.72\sqrt{h_1 - h_2}$

Б.  $w = \frac{w_d}{\varphi_{ск}}$

В.  $w_B = \sqrt{2[k/(k-1)]p_1 v_1 \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$

**17. Что называется дросселированием газа?**

- А. процесс, в котором давление при прохождении газа через суживающееся отверстие увеличивается с совершением внешней работы
- Б. процесс, в котором давление при прохождении газа через суживающееся отверстие не изменяется. При этом работа внешняя не совершается
- В. процесс, в котором давление при прохождении газа через суживающееся отверстие уменьшается без совершения внешней работы

**18. На каком расстоянии от отверстия справедливо уравнение дросселирования  $h_1 = h_2$  ?**

- А. непосредственно в отверстии
- Б. вблизи отверстия
- В. вдали от отверстия

**19. Как изменяется работоспособность водяного пара при его дросселировании?**

- А. Не изменяется
- Б. Увеличивается
- В. Уменьшается

**20. Чем сопровождаются процессы дросселирования реального газа, начинающиеся внутри инверсионной кривой?**

- А. Нагреванием вещества
- Б. Охлаждением вещества
- В. Температура вещества остается неизменной

1. Укажите термический КПД идеального цикла ДВС с подводом тепла при  $P = \text{const}$

- А.  $\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^{\kappa-1}$   
 Б.  $\eta_t = 1 - (\rho^\kappa - 1)/\varepsilon^{\kappa-1} \kappa(\rho-1)$   
 В.  $\eta_t = 1 - (\lambda\rho-1)/\varepsilon^{\kappa-1} [(\lambda-1) + \kappa\lambda(\rho-1)]$

2. Укажите уравнение КПД цикла Ренкина

- А.  $\eta_t = (q_1 - q_2) / q_1$   
 Б.  $\eta_t = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_2')$   
 В.  $\eta_t = (h_1 - h_2) / h_1$

3. В каком процессе сжатия газа в одноступенчатом компрессоре затрачивается наименьшая работа?

- А. адиабатном  
 Б. политропном  
 В. изотермическом

4. Как влияет на КПД увеличение давления пара на входе в турбину цикла Ренкина?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

5. Как влияет на КПД уменьшение температуры пара на входе в турбину цикла Ренкина?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

6. Как влияет на КПД уменьшение давления пара на выходе из турбины цикла Ренкина?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

7. Как влияет на КПД увеличение давления пара на выходе из турбины цикла Ренкина?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

8. Укажите термический КПД идеального цикла ДВС с подводом тепла при  $v = \text{const}$

- А.  $\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^{\kappa-1}$   
 Б.  $\eta_t = 1 - (\rho^\kappa - 1)/\varepsilon^{\kappa-1} \kappa(\rho-1)$   
 В.  $\eta_t = 1 - (\lambda\rho-1)/\varepsilon^{\kappa-1} [(\lambda-1) + \kappa\lambda(\rho-1)]$

9. Укажите термический КПД идеального цикла ДВС со смешанным подводом тепла: частично при  $v = \text{const}$  и частично при  $P = \text{const}$

- А.  $\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^{\kappa-1}$   
 Б.  $\eta_t = 1 - (\rho^\kappa - 1)/\varepsilon^{\kappa-1} \kappa(\rho-1)$   
 В.  $\eta_t = 1 - (\lambda\rho-1)/\varepsilon^{\kappa-1} [(\lambda-1) + \kappa\lambda(\rho-1)]$

10. Как влияет на КПД цикла ДВС увеличение степени повышения давления?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

11. Как влияет на КПД цикла ДВС увеличение степени предварительного расширения рабочего тела?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

12. Как влияет на КПД цикла ДВС увеличение степени сжатия рабочего тела?

- А. КПД возрастает  
 Б. КПД уменьшается  
 В. КПД не изменяется

13. Чему равна работа на привод компрессора адиабатного сжатия?

- А.  $-\frac{\kappa}{\kappa-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1)$   
 Б.  $-\frac{1}{\kappa-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1)$

$$B. -\frac{n}{n-1}(p_2 v_2 - p_1 v_1)$$

14. По какому изотермическому процессу сжимают газ в многоступенчатом компрессоре?

- A. По адиабатному
- Б. По изотермическому
- В. По политропному

15. Чему равен холодильный коэффициент холодильной абсорбционной установки?

$$A. \varepsilon = \frac{q_1 - q_2}{q_1}$$

$$B. \varepsilon = \frac{q_2}{q_1}$$

$$B. \varepsilon = \frac{q_2}{q_1 - q_2}$$

16. Чему был бы равен коэффициент преобразования теплового насоса, если бы он работал по обратному циклу Карно?

$$A. \xi = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

$$B. \xi = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

$$B. \xi = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

17. Как изменяется КПД газотурбинной установки с подводом тепла по изохоре при увеличении  $\kappa$ ,  $\beta$  и  $\lambda$ ?

- A. уменьшается
- Б. увеличивается
- В. не изменяется

18. Как изменяется КПД газотурбинной установки с подводом тепла по изобаре при увеличении  $\kappa$  и  $\beta$ ?

- A. увеличивается
- Б. уменьшается
- В. не изменяется

19. Какой КПД циклов ДВС больше при одинаковых начальных условиях и одинаковых степенях сжатия?

- A. Цикла с изобарным подводом теплоты
- Б. Цикла с изохорным подводом теплоты
- В. Цикла со смешанным подводом теплоты

20. Чему равно отношение давлений в ступенях многоступенчатого компрессора?

- A. в первой ступени больше, чем во второй
- Б. в последней ступени больше, чем в первой
- В. одинаковое во всех ступенях

**5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).**

### Контрольные вопросы к экзамену

1. Термодинамическая система
2. Параметры состояния газа
3. Уравнение состояния идеального газа (все формы)
4. Изображение термодинамических процессов в P-v и T-S координатах.
5. Внутренняя энергия и работа расширения газа
6. Первый закон термодинамики
7. Теплоемкость газов
8. Энтальпия
9. Второй закон термодинамики
10. Прямой и обратный цикл Карно
11. Энтропия. Основные понятия
12. Термодинамический процесс при V=Const.
13. Термодинамический процесс при P=Const.
14. Термодинамический процесс при T=Const.

15. Термодинамический процесс адиабатный
16. Термодинамический политропный процесс
17. Первый закон термодинамики для движущего газа
18. Теоретические циклы поршневых ДВС
19. Компрессоры и циклы компрессорных установок.
20. Цикл Ренкина его КПД и изображение в  $P-v$  и  $h-S$  координатах.
21. Способы повышения КПД цикла Ренкина.
22. Цикл ГТД с подводом теплоты при постоянном давлении.
23. Цикл ГТД с подводом теплоты при постоянном объеме
24. Термодинамические процессы водяного пара Основные понятия
25.  $P - v$  диаграмма водяного пара
26.  $T - S$  диаграмма водяного пара
27.  $h-s$  диаграмма водяного пара
28. Основные параметры жидкости, влажного и перегретого пара
29. Термодинамические процессы изменения состояния водяного пара
30. Изохорный процесс для водяного пара.
31. Адиабатный процесс для водяного пара
32. Изобарный процесс для водяного пара
33. Изотермический процесс для водяного пара
34. Циклы реактивных двигателей
35. Ракетные двигатели
36. Тяга реактивных двигателей
37. Работа проталкивания. Развитие уравнения первого закона термодинамики для потока
38. Располагаемая работа при истечении газа.
39. Адиабатный процесс истечения газа.
40. Истечение капельной жидкости.
41. Скорость истечения и массовый расход идеального газа из суживающегося сопла.
42. Анализ уравнения массового расхода идеального газа и критическое давление.
43. Критическая скорость и максимальный расход идеального газа.
44. Основные условия течения идеального газа по каналам переменного сечения.
45. Случаи истечения идеального газа из суживающегося сопла.
46. Истечение идеального газа из комбинированного сопла Лавалья.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося

В течение семестра студенты, по индивидуальным заданиям, выполняют курсовую работу на тему «Расчет и исследование идеального цикла двигателя внутреннего сгорания».

#### Задание на курсовую работу

Рассчитать идеальный цикл ДВС со смешанным подводом теплоты, включающий следующие термодинамические процессы рабочего тела: адиабатное сжатие, подвод теплоты по изохоре, подвод теплоты по изобаре, адиабатное расширение, отвод теплоты по изохоре.

#### Содержание курсовой работы

1. Расчет цикла:
  - определение газовой постоянной рабочего тела;
  - определение значений давления, удельного объема, температуры и энтропии во всех точках цикла;
  - определение для каждого из процессов, составляющих цикл, изменения внутренней энергии и энтальпии, значений теплоемкости, теплоты и работы процесса;

- определение характеристик цикла в целом: количество подведенной и отведенной теплоты, среднего давления, термического КПД.

2. Исследование влияния параметров цикла на термический КПД:

- степени сжатия;
- степени повышения давления;
- степени предварительного расширения;

### Содержание графической части работы

На листы формата А3 вынести:

1. Цикл в координатах  $p - v$ , цикл в координатах  $T - s$ .
2. Графики изменения термического КПД в зависимости от изменения степени сжатия, степени повышения давления, степени предварительного расширения.

По результатам выполнения курсовой работы студенты представляют расчетно-пояснительную записку и чертежи (2 листа формата А3) графической части. Ход выполнения курсовой работы учитывается при проведении рейтинг-контроля.

Курсовая работа защищается специальной комиссии, состоящей из двух преподавателей кафедры, при обязательной участии руководителя курсовой работы в присутствии студентов группы. Вопросы могут задавать все присутствующие.

### Перечень тем рефератов для СРС

1. Термодинамическая система
2. Параметры состояния газа
3. Уравнение состояния идеального газа (все формы)
4. Изображение термодинамических процессов в  $P-v$  и  $T-S$  координатах.
5. Внутренняя энергия и работа расширения газа
6. Первый закон термодинамики
7. Теплоемкость газов
8. Энтальпия
9. Второй закон термодинамики
10. Прямой и обратный цикл Карно
11. Энтропия. Основные понятия
12. Термодинамический процесс при  $V=Const$ .
13. Термодинамический процесс при  $P=Const$ .
14. Термодинамический процесс при  $T=Const$ .
15. Термодинамический процесс адиабатный

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
Основная литература		
1. В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк, Теплотехника [Электронный ресурс] Учебное пособие, Абрис	2012	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200445.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200445.html</a>



2. В. И. Ляшков, Теоретические основы теплотехники [Электронный ресурс], Учебное пособие для ВУЗов, Абрис	2012	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200513.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785437200513.html</a>
3. Теплотехника: учебник для студ. Высш.учеб. заведений / М.Г. Шатров, И.Е. Иванов, С.А. Пришвин и др.; под ред. М.Г. Шатрова. – 2-е изд., испр. – Издательский центр «Академия»	2012	<a href="http://vlsu.bibliotech.ru/">http://vlsu.bibliotech.ru/</a>
Дополнительная литература		
1. Рыжков С.В. "Основы теплообмена: Учеб. пособие по курсу "Теория теплообмена" [Электронный ресурс] - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана	2007	<a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703829431.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703829431.html</a>
2. В.М. Басуров, В.Ф. Гуськов. Техническая термодинамика и теория теплообмена: Методические, указания к выполнению контрольных работ / Владим. гос. ун-т	2012	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2681">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/2681</a>
3. В.М. Басуров, В.Ф. Гуськов, А.Ю. Абалев. Теплотехника: Практикум/ Владим. гос. ун-т	2018	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/6607">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/6607</a>
4. В.М. Басуров, А.Ю. Абалев Сборник задач по технической термодинамике и теплообмену / Владим. гос.ун-т	2015	<a href="http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/4085">http://e.lib.vlsu.ru:80/handle/123456789/4085</a>

## 6.2. Периодические издания

Ежемесячный теоретический и научно-практический журнал «Теплоэнергетика»

## 6.3. Интернет-ресурсы

Онлайн справочник по свойствам веществ и материалов [thermalinfo.ru](http://thermalinfo.ru)  
<http://thermalinfo.ru>

Is-диаграмма воды и водяного пара: <https://energoworld.ru/theory/is-diagramma-sostoyaniya-vody-i-vodyanogo-para/>

Онлайн конвертер единиц измерения: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/>

Онлайн калькулятор закона состояния идеального газа:  
<https://www.translatorscafe.com/unit-converter/ru-RU/calculator/ideal-gas-law/>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия проводятся в ауд. 301-2, оснащенной проектором.

Практические занятия проводятся в ауд. 308-2, оснащенной демонстрационными и справочными материалами.

Лабораторные работы проводятся в аудитории 308-2, оснащенной оборудованием для проведения лабораторных работ по темам: «Изохорный процесс воздуха», «Определение показателя политропы», «Исследование процессов во влажном воздухе», «Определение изобарной теплоёмкости воздуха».

Самостоятельная работа студентов проводится в компьютерном классе кафедры - ауд. 304-2, оснащенной персональными компьютерами с установленным лицензионным программным обеспечением (MATLAB R2010b, Mathcad 14.0M011), доступом к сетевым ресурсам университета и интернет, необходимыми справочными материалами.

Рабочую программу составил  
к.т.н.

А. Ю. Абаляев

Рецензент

(представитель работодателя) специалист по сертификации АО «Камешковский механический завод», Владимирская область, г. Камешково  
д.т.н.

А. Р. Кульчицкий

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры \_\_\_\_\_  
Протокол № 1 от 31.08.2021 года  
Заведующий кафедрой

А. Ю. Абаляев

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
на заседании учебно-методической комиссии направления 13.03.03 – энергетическое  
машиностроение  
Протокол № 1 от 31.08.2021 года  
Председатель комиссии

А. Н. Гоц

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на 20 \_\_\_\_ / 20 \_\_\_\_ учебный года

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от \_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

в рабочую программу дисциплины

*«Термодинамика»*

образовательной программы направления подготовки 13.03.03 – энергетическое машиностроение,

направленность: *двигатели внутреннего сгорания*

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

*Подпись**ФИО*