

**Министерство науки и высшего образования РФ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**  
**Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

---

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: Теплоэнергетические системы и цифровые технологии, Интеллектуальная распределенная энергетика, Цифровые системы управления технологическими процессами

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

Блок	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы	Обязательная
Индекс дисциплины по учебному плану	Б1.О.14
Трудоемкость в зачетных единицах	5
Часов (всего) по учебному плану	3 семестр - 180
Лекции	3 семестр - 32 часов
Практические занятия	3 семестр - 24 часов
Лабораторные работы	3 семестр - 24 часов
Консультации по курсовому проекту/ работе	учебным планом не предусмотрены
Самостоятельная работа	3 семестр - 64 часов
включая: РГР	учебным планом не предусмотрена
Промежуточная аттестация: экзамен	3 семестр – 2,5 часа
Контроль: экзамен	3 семестр - 33,5 часа

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры Энергетики

(должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

С.Б. Шевцова

(расшифровка подписи)

И.о. заведующего кафедрой Энергетики

(название кафедры)



(подпись)

М.С. Иваницкий

(расшифровка подписи)

Руководитель образовательных программ Теплоэнергетические системы и цифровые технологии, Интеллектуальная распределенная энергетика

Доцент кафедры Энергетики,

к.т.н., доцент

(должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

М.М. Султанов

(расшифровка подписи)

Руководитель образовательной программы Цифровые системы управления технологическими процессами

Доцент кафедры Энергетики,

к.т.н., доцент

(должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

И.А. Болдырев

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

И.о. заведующего кафедрой Энергетики

(название кафедры)



(подпись)

М.С. Иваницкий

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины** является освоение теоретических основ всех теплоэнергетических дисциплин, показывающих общности методов технической термодинамики для анализа различных физических явлений.

### **Задачами дисциплины являются:**

- обучение проведению технических расчетов по задачам профессиональной деятельности, технологическим проектам, технико-экономическому анализу эффективности принимаемых решений;
- освоение базовых знаний для выявления истиной сущности возникающих проблем, применять основные законы естествознания для их разрешения;
- приобретение навыков по составлению описаний принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений;
- приобретение навыков выбора и подготовки исходных данных для обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-2 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-2.5. Демонстрирует понимание физических явлений и применяет законы механики, термодинамики, электричества и магнетизма	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- физические основы механики, термодинамики, молекулярной физики;</li><li>- основные понятия и фундаментальные законы химии.</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- анализировать результаты наблюдений и экспериментов с применением основных законов и принципов физики.</li></ul>
ОПК-3 Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ОПК-3.6. Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы ОПК-3.7. Применяет знания основ тепломассообмена в теплотехнических установках	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики в области механики,</li><li>- основные понятия, термины и законы химии, современные конструкционные материалы и их физико-химические свойства.</li></ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- осуществлять анализ данных, необходимых для решения поставленных задач управления технической системой;</li><li>- применять современные методы исследования, проводить технические</li></ul>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		испытания, оценивать результаты выполненной работы.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина базируется на дисциплинах: Высшая математика, Физика, Химия.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при изучении следующих дисциплин: «Водоподготовка (профиль 1)», «Котельные установки (профиль 1)», при выполнении выпускной квалификационной работы.

### знать:

- физические основы механики, термодинамики, молекулярной физики;
- основные понятия и фундаментальные законы химии;
- фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики в области механики,
- основные понятия, термины и законы химии, современные конструкционные материалы и их физико-химические свойства.

### уметь:

- анализировать результаты наблюдений и экспериментов с применением основных законов и принципов физики;
- осуществлять анализ данных, необходимых для решения поставленных задач управления технической системой;
- применять современные методы исследования, проводить технические испытания, оценивать результаты выполненной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы							Содержание самостоятельной работы (с указанием № источника по п. 5.1 и страниц в нем)		
				Контактная						СР			Конт- роль
				Лек	Пр	Лаб	КПР	ИККП	ПА				
1	Параметры состояния; 1-й закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами	34	3	8	6	6	–	–	–	14	–	Изучение теоретического и практического материала: [1], стр. 4-15. [2], стр. 6-10. Выполнение домашнего задания: [9], № 2.1 - 2. 13 стр. 18-25.	
2	Второй закон ТД; энтропия и эксергия; циклы; реальные газы; химический потенциал; свойства воды и процессы с водяным паром, влажный воздух	40	3	8	6	6	–	–	–	20	–	Изучение теоретического и практического материала: [1], стр. 15-34. [2], стр. 20-28. Выполнение домашнего задания: [9], № 7.1 - 7. 26 стр. 82-92 [9], № 9.1 - 9. 25 стр. 135-143 [9], № 10.1 - 10.17 стр. 154-163.	
3	ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ	34	3	6	6	6	–	–	–	16	–	Изучение теоретического и практического материала: [1], стр. 34 -57, 82-93. Выполнение домашнего задания: [9], № 11.1 - 11.21 стр. 168-178 [9], № 12.1 - 12.13 стр. 203-207 [9], № 13.1 - 13.9 стр. 215-220.	
4	Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию	36	3	10	6	6	–	–	–	14	–	Изучение теоретического и практического материала: [1], стр. 57-147. Выполнение домашнего задания: [9], № 14.1 - 14.12 стр. 237-242.	
5	Экзамен	36	3	–	–	–	–	–	2,5	–	33,5	Экзамен проводится в устной форме по билетам согласно программе экзамена	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180</b>	3	<b>32</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	–	–	<b>2,5</b>	<b>64</b>	<b>33,5</b>		

Примечание:Лек – лекции; Пр – практические занятия; Лаб – лабораторные работы; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ПА – промежуточная аттестация; СР – самостоятельная работа студента.

## 3.2. Краткое содержание разделов

### 3 семестр

#### 1. Параметры состояния

1-й закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами; эксергия. Введение. Техническая термодинамика как теоретическая основа теплоэнергетики. Термодинамическая система и окружающая среда. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. Параметры состояния. Уравнения состояния. Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа – формы передачи энергии. Работа расширения. Внутренняя энергия и энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Термодинамические свойства идеального газа. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов. Зависимость теплоемкости от температуры. Связь с внутренней энергией и энтальпией. Основные процессы идеального газа и их исследование. Расчет адиабатных процессов идеального газа с помощью термодинамических функций. Политропные процессы и их анализ. Смеси идеальных газов. Способы задания смеси. Расчет параметров смеси. Расчет процессов смешения газов. Энтропия смешения.

#### 2. Второй закон ТД

Циклы; реальные газы; химический потенциал; свойства воды и процессы с водяным паром; влажный воздух. Второй закон термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические циклы. Термический КПД цикла теплового двигателя. Цикл Карно и его КПД. Расчет изменения энтропии идеального газа в обратимых процессах с помощью таблиц. Тепловая T,s-диаграмма и ее свойства. Аналитическое выражение второго закона термодинамики. Расчет изменения энтропии в необратимых процессах. Причины необратимости. Возрастание энтропии изолированной системы. Эксергия как мера работоспособности системы. Эксергия системы в замкнутом объеме, потока, эксергия теплоты. Потеря эксергии при необратимых процессах. Характеристические функции. Химический потенциал, Общие условия термодинамического равновесия. Фазовое равновесие. Условия устойчивости системы. Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Формулировки третьего закона термодинамики. Гипотеза Планка. Абсолютная энтропия. Реальные газы. Термодинамические свойства реальных газов. Коэффициент сжимаемости. Уравнения Ван-дер-Ваальса и его анализ. Подобие термодинамических свойств веществ. Фазовая диаграмма. Правило фаз Гиббса. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Вода и водяной пар. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного и перегретого пара. Сверхкритическая область состояния пара. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. Диаграммы состояния воды и пара. Процессы воды и водяного пара и их расчет. Основы химической термодинамики. Тепловой эффект химической реакции. Закон Гесса. Константа химического равновесия и изменение термодинамического потенциала.

#### 3. ТД потока.

Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ. Первый закон термодинамики для потока газа. Уравнение механической энергии. Уравнение Бернулли. Параметры торможения. Уравнения профиля каналов. Сопла и диффузоры. Истечение газа из суживающегося сопла. Максимальный расход и максимальная (критическая) скорость. Кризис течения. Условия перехода через скорость звука. Сопло Лаваля. Расчетный и нерасчетный режим сопла Лаваля. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода. Дросселирование газов и паров. Дросселирование идеальных газов. Эффект Джоуля-Томсона. Дифференциальное уравнение адиабатного дроссель-эффекта. Температура инверсии, кривая инверсии. Способы получения низких температур. Компрессоры. Сжатие газа в одноступенчатом компрессоре. Влияние вредного пространства. Реальный «цикл» компрессора. Сжатие газа в многоступенчатом компрессоре. Оптимальные условия работы многоступенчатого компрессора. Изображение процессов сжатия на диаграммах состояния. Циклы ДВС. Индикаторная диаграмма и цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания. Циклы с подводом теплоты при постоянном объеме, постоянном давлении и со смешанным подводом теплоты. КПД циклов и их термодинамический анализ. Принципиальная схема и цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном

давлении. Термический КПД идеального цикла. Действительный цикл и его КПД. Влияние необратимости процессов сжатия и расширения. Регенеративный цикл ГТУ. Степень регенерации. Цикл с многоступенчатым сжатием рабочего тела и многоступенчатым расширением. Особенности циклов ГТУ и пути их совершенствования. Схема, цикл и термический КПД прямоточного и турбореактивного двигателей. Схема и цикл ракетного двигателя.

#### 4. Циклы ПТУ и АЭС

Циклы ПТУ и АЭС холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию. Циклы паротурбинных установок (ПТУ). Цикл Карно. Принципиальная схема ПТУ. Термический КПД цикла. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД. Необратимое расширение пара в турбине. Цикл и схема ПТУ с промежуточным (вторичным) перегревом пара. КПД цикла, диаграммы состояния. Оптимальная температура (давление) перед вторичным перегревом. Регенеративный цикл ПТУ. Схема регенеративного подогрева с отборами пара. Цикл с предельной регенерацией. Бинарные циклы. Принципиальные схемы атомных станций с реакторами типа РБМК, ВВЭР, БН. Теплоносители атомных реакторов и их свойства. Циклы атомных станций с водяным теплоносителем. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией. Цикл с сепарацией и перегревом пара. Комбинированные циклы. Теплофикационный цикл. Термодинамические основы теплофикации. Схема и циклы ТЭЦ. Схемы и циклы парогазовых установок. Схема и цикл паро-паровой бинарной установки. Схема, цикл и КПД разомкнутой МГД-установки. Циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию. Обратные циклы. Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки. Схемы и циклы парожеткорной и абсорбционной установок. Циклы теплового насоса (термотрансформатора). Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность. Влагосодержание. Температура точки росы. Диаграммы влажного воздуха. Термодинамические процессы во влажном воздухе.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Параметры состояния термодинамической системы. Температурные шкалы. Единицы измерения давления (2 часа).
2. Первый закон термодинамики (2 часа).
3. Законы и уравнения состояния идеальных газов. Изопроцессы (2 часа).
4. Теплоёмкость, энтальпия и внутренняя энергия идеальных газов (2 часа).
5. Смеси идеальных газов (2 часа).
6. Процессы с идеальными газами (2 часа).
7. Второй закон термодинамики. Необратимость тепловых процессов. Эксергия. Энтропия (2 часа).
8. Свойства воды и водяного пара. Процессы изменения его состояния. Таблица воды и водяного пара. Влажный воздух. Процессы во влажном воздухе (2 часа).
9. Параметры потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов (2 часа).
10. Компрессоры и циклы ДВС. Многоступенчатое сжатие (2 часа).
11. Циклы ГТУ и реактивных двигателей (2 часа).
12. Циклы паротурбинных и атомных установок (2 часа).

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Вводное занятие (2 часа).
2. Определение показателя адиабаты воздуха (4 часа).
3. Определение отношения молярных теплоёмкостей  $C_p/C_v$  для воздуха (4 часа).
4. Исследование процесса истечения воздуха через суживающееся сопло (4 часа).
5. Изучение эффекта Джоуля-Томсона (4 часа).
6. Исследование процессов во влажном воздухе (6 часов).

### **3.5. РГР**

Учебным планом не предусмотрены.



### **3.6. Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/курсовая работа учебным планом не предусмотрены.

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Номер и наименование результатов образования по дисциплине (в соответствии с разделом 3)	Индекс компетенции	Формы контроля				
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
физические основы механики, термодинамики, молекулярной физики	ОПК-2.5	X				Тест «Параметры состояния; первый закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами»
основные понятия и фундаментальные законы химии	ОПК-2.5		X			Контрольная работа «Параметры состояния идеального газа». Отчет по лабораторной работе №1
фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики в области механики,	ОПК-3.6			X		Тест «Второй закон ТД; циклы; реальные газы; свойства воды и процессы с паром». Отчет по лабораторной работе №2
основные понятия, термины и законы химии, современные конструкционные материалы и их физико-химические свойства	ОПК-3.7			X		Тест «ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ». Контрольная работа «Термодинамические циклы». Отчет по лабораторной работе №3
<b>Уметь:</b>						
анализировать результаты наблюдений и экспериментов с применением основных законов и принципов физики	ОПК-2.5			X		Тест «Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию; влажный воздух» Контрольная работа «Истечение и дросселирование газов». Отчет по лабораторной работе №4
осуществлять анализ данных, необходимых для решения поставленных задач управления технической системой	ОПК-2.5				X	Контрольная работа «Циклы паротурбинных установок» . Отчет по лабораторной работе №5
применять современные методы исследования, проводить технические испытания, оценивать результаты выполненной работы	ОПК-3.6			X		Контрольная работа «Расчет цикла теплового двигателя». Контрольная работа «Термодинамический расчёт циклов паросиловых (турбинных) установок». Отчет по лабораторной работе №6
<b>Итого:</b>						
<i>Всего часов на раздел дисциплины (в соответствии с п.3.1)</i>		34	40	34	36	

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине:**

– тестирование:

1. Тест «Параметры состояния; первый закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами»
2. Тест «Второй закон ТД; циклы; реальные газы; свойства воды и процессы с паром»
3. Тест «ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ»
4. Тест «Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию; влажный воздух»

– контрольные работы:

1. Контрольная работа «Параметры состояния идеального газа».
2. Контрольная работа «Термодинамические циклы».
3. Контрольная работа «Истечение и дросселирование газов».
4. Контрольная работа «Циклы паротурбинных установок».
5. Контрольная работа «Расчет цикла теплового двигателя».
6. Контрольная работа «Термодинамический расчёт циклов паросиловых (турбинных) установок».

– защиты лабораторных работ.

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2. Промежуточная аттестация по дисциплине (части дисциплины):**

Экзамен.

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **5.1. Печатные и электронные издания:**

1. Кудинов, И. В. Теоретические основы теплотехники Ч. I. Термодинамика [Электронный ресурс] : учеб. пособие / И. В. Кудинов, Е. В. Степанюк. – Электрон. текстовые дан. – Самара : СГАСУ, 2013. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book>
2. Грошев, А. И. Термодинамические циклы паросиловых установок : учеб. пособие / А. И. Грошев. - Волжский : Филиал ГОУ ВПО "МЭИ (ТУ)" в г. Волжском, 2007. - 63 с.
3. Карминский, В. Д. Техническая термодинамика и теплопередача [Электронный ресурс] : курс лекций / В. Д. Карминский. – Электрон. текстовые дан. – М. : Маршрут, 2005. – Режим доступа : [https://e.lanbook.com/book/59062#book\\_name](https://e.lanbook.com/book/59062#book_name)
4. Техническая термодинамика и теплотехника : учеб. пособие для студентов вузов / Л. Т. Бахшиева [и др.] ; под ред. А. А. Захаровой. - 2-е изд., испр. - М. : Академия, 2008. - 272 с.
5. Шамина, Г. З. Определение показателя адиабаты воздуха : метод. указ. к лаб. работе по дисциплине "Термодинамика" / Г. З. Шамина. - Волжский : Филиал ГОУВПО "МЭИ (ТУ)" в г. Волжском, 2008. - 12 с.
6. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : справочник / А. А. Александров, Б. А. Григорьев. -2-е изд., стер. - М. : Издат. дом МЭИ, 2006. - 168 с.
7. Александров, А. А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок

[Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / А. А. Александров. - Электрон. текстовые дан. – М. : МЭИ, 2016. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book>

8. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 140100 "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Издат. дом МЭИ, 2008. - 496 с.

9. Сборник задач по технической термодинамике : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям Теплоэнергетика и Техническая физика / Т. Н. Андрианова [и др.]. - 5-е изд., стер. - М. : Издат. дом МЭИ, 2006. - 356 с.

## **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Power Point.

## **5.3. Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

Университетская информационная система «РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

Базаданных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ <https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ <http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ" <https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные и практические занятия проводятся в учебных аудиториях, снабженных оборудованием для показа обучающих материалов, средствами звуковоспроизведения, доской аудиторной, оборудованием для представления презентаций (плазменная панель, персональный компьютер).

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

## Техническая термодинамика

(название дисциплины)

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

КМ-1	Тест «Параметры состояния; первый закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами»
КМ-2	Контрольная работа «Параметры состояния идеального газа»
КМ-3	Тест «Второй закон ТД; циклы; реальные газы; свойства воды и процессы с паром»
КМ-4	Тест «ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ»
КМ-5	Контрольная работа «Термодинамические циклы»
КМ-6	Тест «Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию; влажный воздух»
КМ-7	Контрольная работа «Истечение и дросселирование газов»
КМ-8	Контрольная работа «Циклы паротурбинных установок»
КМ-9	Контрольная работа «Расчет цикла теплового двигателя»
КМ-10	Контрольная работа «Термодинамический расчёт циклов паросиловых (турбинных) установок»
КМ-11	Защита лабораторных работ

**Вид промежуточной аттестации – экзамен.**

Трудоемкость дисциплины = 5 з.е.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11	Экзамен
1	Параметры состояния; 1-й закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами		+	+									+	+
2	Второй закон ТД; энтропия и эксергия; циклы; реальные газы; химический потенциал; свойства воды и процессы с водяным паром, влажный воздух				+								+	+
3	ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ					+	+	+			+		+	+
4	Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию								+	+		+	+	+
	Минимальный балл за КМ		2	3	2	2	3	2	3	3	2	2	16	20
	Максимальный балл за КМ		3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	24	40

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском**

---

**Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**Наименование образовательной программы: Теплоэнергетические системы и цифровые технологии,  
Интеллектуальная распределенная энергетика, Цифровые системы управления технологическими  
процессами**

**Уровень образования: бакалавриат**

**Форма обучения: очная**

**Оценочные материалы по дисциплине**

**Б1.О.14 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА**

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Коды индикаторов достижения компетенции	Оценочное средство (тип и наименование)
<b>Знать:</b>		
физические основы механики, термодинамики, молекулярной физики	ОПК-2	Тест «Параметры состояния; первый закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами»
основные понятия и фундаментальные законы химии	ОПК-2	Контрольная работа «Параметры состояния идеального газа». Отчет по лабораторной работе №1
фундаментальные понятия, законы и теории классической и современной физики в области механики,	ОПК-3	Тест «Второй закон ТД; циклы; реальные газы; свойства воды и процессы с паром». Отчет по лабораторной работе №2
основные понятия, термины и законы химии, современные конструкционные материалы и их физико-химические свойства	ОПК-3	Тест «ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ». Контрольная работа «Термодинамические циклы». Отчет по лабораторной работе №3
<b>Уметь:</b>		
анализировать результаты наблюдений и экспериментов с применением основных законов и принципов физики	ОПК-2	Тест «Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию; влажный воздух» Контрольная работа «Истечение и дросселирование газов». Отчет по лабораторной работе №4
осуществлять анализ данных, необходимых для решения поставленных задач управления технической системой	ОПК-3	Контрольная работа «Циклы паротурбинных установок» . Отчет по лабораторной работе №5
применять современные методы исследования, проводить технические испытания, оценивать результаты выполненной работы	ОПК-3	Контрольная работа «Расчет цикла теплового двигателя». Контрольная работа «Термодинамический расчёт циклов паросиловых (турбинных) установок». Отчет по лабораторной работе №6

## Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 1. Тест «Параметры состояния; первый закон термодинамики; идеальный газ – законы, уравнения, смеси газов, процессы с идеальными газами»

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 15 минут.

Пример варианта теста:

1. Какое соотношение абсолютных давлений является правильным?
  - a)  $10 \text{ МПа} < 50 \text{ бар}$ .
  - b)  $1000 \text{ мм.рт.ст.} > 300 \text{ кПа}$ .
  - c)  $100 \text{ кПа} < 10 \text{ бар}$ .
  - d)  $10 \text{ Н/м}^2 < 1 \text{ бар}$ .
2. Что называется рабочим телом тепловой машины?
  - a) тело машины для передачи движения.
  - b) тело машины для приёма и передачи тепла и работы.
  - c) движущийся элемент машины.
  - d) Топливо, используемое в машине
3. Каким соотношением вычисляется изохорная теплоёмкость?
  - a)  $du/dt$ .
  - b)  $c_p - R$ .
  - c)  $dh/dt$ .
  - d)  $c_p \cdot k$ .
4. Дайте определение равновесных и неравновесных состояний и процессов.
5. Запишите аналитическое выражение первого закона термодинамики.
6. Приведите зависимость для расчета энтропия смешении.

Пример шкалы оценивания КМ

По результатам тестирования выставляется:

- 5баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий;
- 3-4 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 2балла, если правильно выполнено не менее 50% заданий.

### 2. Тест «Второй закон ТД; циклы; реальные газы; свойства воды и процессы с паром»

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 15 минут.

Пример варианта теста:

1. Для 1 моля газа, что вызывает повышение температуры в изохорном процессе?
  - a) увеличение массы газа.
  - b) увеличение давления газа.
  - c) изменение удельного объёма.
  - d) снижение объёма газа.
2. Что такое термический к.п.д. теплового двигателя?
  - a) Отношение низшей температуры к наивысшей в цикле
  - b) Отношение полезной работы цикла к подведенной теплоте
  - c) Отношение отведенной теплоты к подведенной
  - d) Отношение реальной мощности, снимаемой с двигателя, к её теоретической
3. Как можно правильно задать влажный пар?
  - a) задать температуру и давление.
  - b) задать степень сухости и массу жидкой фазы.
  - c) задать степень влажности и давления.
  - d) задать объём и массу сухого пара.



4. Дайте определение понятию химический потенциал
5. Запишите аналитическое выражение второго закона термодинамики
6. Приведите уравнение Ван-дер-Ваальса

Пример шкалы оценивания КМ

По результатам тестирования выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий;
- 3-4 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 2 балла, если правильно выполнено не менее 50% заданий

### **3. Тест «ТД потока. Сопла. Истечение и дросселирование газов; компрессоры и циклы ДВС, ГТУ»**

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 15 минут.

Пример варианта теста:

1. Что называют геометрическим соплом?
  - a) циклонный ускоритель потока.
  - b) сужение проточной части потока.
  - c) расширение проточной части потока.
  - d) цилиндрический участок трубопровода.
2. Что означает адиабатный дроссель- эффект Джоуля-Томсона:
  - a) степень снижения давления в потоке.
  - b) степень увеличения скорости потока.
  - c) степень изменения температуры в потоке.
  - d) степень потери энергии потока.
3. В каком процессе цикла Отто подводится теплота?
  - a) в изохорном процессе.
  - b) в изобарном процессе.
  - c) в изобарно-изотермическом процессе.
  - d) в адиабатном процессе сжатия рабочего тела.
4. Дайте определение первому закону термодинамики для потока газа
5. Запишите аналитические выражения для максимального расхода и максимальной (критической) скорости потока
6. Приведите уравнение термического КПД прямоточного и турбореактивного двигателей

По результатам тестирования выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий;
- 2-3 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 2 балла, если правильно выполнено не менее 50% заданий.

### **4.Тест «Циклы ПТУ и АЭС, холодильных машин, циклы прямого преобразования тепла в электроэнергию; влажный воздух»**

Тест состоит из 6 вопросов. Время выполнения 15 минут.

Пример варианта теста:

1. Для каких целей применяют регенерацию теплоты в ГТУ?
  - a) Снижение расхода топлива и увеличения КПД

- b) Увеличение температурного режима ГТУ
  - c) Регулирование производительности ГТУ
  - d) Возможность отбора тепловой энергии ГТУ
2. Почему в ПТУ используют цикл Ренкина вместо цикла Карно?
- a) Снизить КПД ПТУ и тепловые затраты
  - b) Упростить работу турбины
  - c) Упростить процесс сжатия рабочего тела
  - d) Увеличить температурный диапазон рабочего цикла.
3. Чем отличается цикл ПТУ от цикла холодильной машины?
- a) Температурой отводимого тепла в окружающую среду.
  - b) Направлением осуществления цикла
  - c) Видом затраченной энергии для осуществления цикла.
  - d) КПД цикла
4. Дайте определение цикла Карно
5. Запишите аналитическое выражение для КПД разомкнутой МГД-установки
6. Приведите зависимость КПД обратного цикла Карно

#### Пример шкалы оценивания КМ

По результатам тестирования выставляется:

- 5 баллов, если правильно выполнено не менее 90% заданий;
- 3-4 балла, если правильно выполнено не менее 80% заданий;
- 2 балла, если правильно выполнено не менее 50% заданий.

#### Контрольная работа «Параметры состояния идеального газа».

Время выполнения 45 минут.

Выполнить расчет **параметров состояния идеального газа** согласно заданию. Заданы характеристики газа, температура, давление процесса, концентрация вещества.

#### Пример шкалы оценивания КМ

По результатам выполнения контрольной работы выставляется:

- 10 баллов, если термодинамический процесс расширения построен верно и верно определены параметры во всех точках.
- 8 баллов, если термодинамический процесс расширения построен верно, но параметры определены не точно.

#### Защита лабораторных работ

1. Вводное занятие.
2. Определение показателя адиабаты воздуха.
3. Определение отношения молярных теплоёмкостей  $C_p/C_v$  для воздуха.
4. Исследование процесса истечения воздуха через суживающееся сопло.
5. Изучение эффекта Джоуля-Томсона.
6. Исследование процессов во влажном воздухе.

Примеры вопросов для защиты:

1. Расчет адиабатных процессов идеального газа с помощью термодинамических функций.
2. Расчет параметров смеси.
3. Термодинамические свойства идеального газа.

4. Уравнение механической энергии.
5. Истечение с учетом необратимости.
6. Коэффициенты скорости и расхода.
7. Параметры торможения.

#### Пример шкалы оценивания КМ

По результатам защиты лабораторной работы выставляется:

- 4 балла, если на все вопросы даны правильные ответы, без недочетов;
- 2-3 балла, если на все вопросы даны ответы, при этом суммарно допущено не более двух ошибок;
- 1 балл, если не менее чем на половину вопросов даны правильные ответы, либо при ответе часто допускались ошибки.

### Промежуточная аттестация

#### Экзамен

Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса и практическое задание.

Примеры теоретических вопросов билета:

1. Равновесные и неравновесные состояния и процессы.
2. Молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов.
3. Второй закон термодинамики.
4. Фазовое равновесие.
5. Уравнения Ван-дер-Ваальса и его анализ.
6. Уравнения профиля каналов.

Примеры практических заданий:

1. Определить КПД двигателя автомобиля мощностью 44,0 кВт при расходе топлива 7,4 кг/ч. Теплота сгорания топлива принять равной  $Q_{н^p}=40$  МДж/кг.
2. Компрессор подаёт кислород в резервную ёмкость 3 м<sup>3</sup>. Избыточное давление в резервуаре увеличивается при этом от 0,01 до 0,6 МПа, а температура газа – от 15 до 30°C. Определить массу поданного компрессором кислорода. Барометрическое давление  $B=993$  гПа.
3. В трубе течёт водяной пар при давлении 2 МПа и степени сухости  $x=0,96$  со скоростью 40 м/с. Расход пара  $D=5000$  кг/ч. Определить внутренний диаметр трубы.

Время подготовки ответа – 60 минут.

#### Пример шкалы оценивания КМ

По результатам ответа на экзамене выставляется:

- 36-40 баллов, если правильно выполнено практическое задание, и при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся показал, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных фактов или решения задач;
- 26-35, если правильно выполнено практическое задание или в нем допущено не более одной ошибки, которая была самостоятельно исправлена обучающимся, и при ответе

на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы обучающийся допускает негрубые ошибки;

- 20-25 баллов, если в выполненном практическом задании допущены грубые ошибки, которые затем исправлены обучающимся при участии экзаменатора или практическое задание не выполнено в полном объеме, но обучающийся смог довести решение до конца при участии экзаменатора, и в ответах на вопросы экзаменационного билета допущены ошибки;
- 0 баллов, если практическое задание не выполнено или не даны ответы на вопросы экзаменационного билета и не выполнены критерии для категории 20-25 баллов.

Оценка по дисциплине определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов филиала НИУ «МЭИ» в г. Волжском по совокупности результатов текущего контроля успеваемости и экзаменационной составляющей.

В зависимости от количества баллов за дисциплину выставляется:

<b>Оценка</b>	<b>Количество баллов</b>
оценка 5 («отлично»)	90 – 100 баллов
оценка 4 («хорошо»)	76 – 89 баллов
оценка 3 («удовлетворительно»)	60 – 75 баллов
оценка 2 («неудовлетворительно»)	0 – 59 баллов