

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Наименование образовательной программы: Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛО- И МАССООБМЕН**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	Обязательная
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.О.22
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	4 семестр - 5; 5 семестр - 5; всего - 10
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	360 часов
<b>Лекции</b>	4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
<b>Практические занятия</b>	4 семестр - 32 часа; 5 семестр - 32 часа; всего - 64 часа
<b>Лабораторные работы</b>	4 семестр - 16 часов; 5 семестр - 16 часов; всего - 32 часа
<b>Консультации</b>	4 семестр - 2 часа; 5 семестр - 2 часа; всего - 4 часа
<b>Самостоятельная работа</b>	4 семестр - 97,5 часа; 5 семестр - 97,5 часа; всего - 195,0 часа
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> Решение задач Контрольная работа Расчетно-графическая работа Тестирование Коллоквиум	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
Экзамен	4 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	5 семестр - 0,5 часа;
	всего - 1,0 час

**Москва 2022**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Ежов Е.В.
	Идентификатор	R680daa58-YezhovYevV-d05c8f2a

(подпись)

Е.В. Ежов

(расшифровка подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Митрохова О.М.
	Идентификатор	R1d0f453c-FichoriakOM-ee811867

(подпись)

О.М. Митрохова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Грибин В.Г.
	Идентификатор	R44612ca0-GribinVG-8231e2ff

(подпись)

В.Г. Грибин

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** изучение законов термодинамики и термодинамических методов анализа, применительно к системам передачи и трансформации теплоты в теплосиловых, холодильных и теплонасосных установках; изучение принципов теплообмена и методы их применения для анализа и расчета процессов, происходящих в теплоэнергетических и теплотехнических установках

### Задачи дисциплины

- освоение основных законов термодинамики и методов их применения для анализа и расчета процессов, используемых в энергетических установках, холодильных, теплонасосных и других теплотехнических установках;

приобретение знаний и навыков, позволяющих рассчитывать термодинамические процессы разнообразных теплоэнергетических и низкотемпературных установок;

- освоение навыков использования справочных данных теплофизических свойств рабочих тел и тепло-носителей;

Освоение навыков расчётов циклов газотурбинных, паротурбинных, холодильных и теплонасосных установок;

- формирование базовой и профессиональной теплотехнической подготовки, включающей освоение принципов и современных расчетных методов теплообмена для анализа, расчета и оптимизации процессов и установок в атомной энергетике, тепловой энергетике и других теплотехнологиях;

- освоение методов расчета основных процессов теплообмена: теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена, а также основам расчета теплообменных аппаратов; освоение основ компьютерного моделирования теплообменных процессов и установок.

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

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-4 способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов термодинамики, выполняет расчеты основных показателей термодинамических циклов и проводит анализ их эффективности	знать: - методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газа; - основные законы термодинамики и условия их применения.  уметь: - применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании; - самостоятельно выбирать и применять методы расчета термодинамических свойств идеального и реального газа; - анализировать, выбирать и применять методы расчета основных характеристик термодинамических циклов холодильных, теплосиловых и теплонасосных установок.

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-4 способен применять в расчетах теоретические основы рабочих процессов в энергетических машинах и установках	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub> Демонстрирует понимание основных законов и способов переноса теплоты и массы, проводит исследования и расчет процессов теплообмена в соответствии с заданной методикой	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные источники научно-технической информации о новых разработках в области теплообмена;</li> <li>- методики расчета теплообменных аппаратов ТЭС, АЭС и принципы и методы интенсификации теплопередачи;</li> <li>- методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена;</li> <li>- основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельно анализировать процессы теплообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации теплообменного оборудования;</li> <li>- разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов;</li> <li>- самостоятельно ставить и решать задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты.</li> </ul>
ОПК-6 способен проводить измерения физических величин, определяющих работу энергетических машин и установок	ИД-1 <sub>ОПК-6</sub> Демонстрирует знание единиц измерения физических величин, основных методов их измерения	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные источники информации о теплофизических свойствах теплоносителей.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться справочными данными теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей.</li> </ul>
ОПК-6 способен проводить измерения физических величин, определяющих работу энергетических машин и установок	ИД-2 <sub>ОПК-6</sub> Выполняет измерения физических величин, обрабатывает результаты измерений и оценивает погрешность	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные принципы измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели (далее – ОПОП), направления подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать - Высшую математику в объёме трёх семестров (дифференциальное и интегральное исчисление, ряды) - химию в объёме средней школы - физику в объёме предшествующих семестров - информатику в объёме средней школы и 1 курса
- уметь - пользоваться прикладными программами MS Office 2010/2016 (Word 2016, Excel 2016) - использовать при расчётах Mathcad 2015 в объёме прошедшего курса

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 10 зачетных единиц, 360 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Основные законы термодинамики и общие закономерности	28	4	8	-	8	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение материала по теме: "Процессы в идеальных газах"</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Решение задач, аналогичных предлагаемым на практическом занятии по теме: "Процессы в идеальных газах"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Процессы в идеальных газах". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач, провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: расчёт состояний в идеальном газе с использованием табличных данных</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 28, 44-48, 58, 81</p>
1.1	Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа	12		4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Первый закон термодинамики	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.3	Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства	8		2	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
1.4	Дифференциальные соотношения термодинамики	2		-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
2	Процессы идеального газа	28		6	8	6	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение теоретического материала по теме: "Смеси идеальных газов"</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение</p>
2.1	Смеси идеальных газов	12		2	4	2	-	-	-	-	-	4	-	
2.2	Процессы идеального газа	16		4	4	4	-	-	-	-	-	4	-	

													теоретического материала на основе лекционного курса по теме: "Дифференциальные соотношения термодинамики" <b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Расчёт замкнутого обратимого цикла бинарной смеси идеальных газов из пяти процессов по заданным параметрам состояния <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 13-15 [4], 14-18
3	Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара	12	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение лекционного материала по разделу "Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара". Изучение представлений о строении реального вещества, молекулярно-кинетической теории реального газа.
3.1	Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар	12	4	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение методов расчётов с помощью таблиц "Теплофизические свойства воды и водяного пара" <b><u>Подготовка к контрольной работе:</u></b> Изучение материалов по разделу Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара и подготовка к контрольной работе <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 207-210
4	Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел	36	6	6	6	-	-	-	-	-	18	-	<b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение лекционного материала, а также рекомендованных литературных источников по темам: "Истечение и дросселирование газов и паров", "Эксэргия"
4.1	Истечение идеальных газов из сопел	12	2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
4.2	Истечение водяного пара из сопел	12	2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	[2], 267-293

	различной конфигурации													
4.3	Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия	12		2	2	2	-	-	-	-	-	6	-	
5	Термодинамические циклы теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок	40		8	2	8	-	-	-	-	-	22	-	<p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> Подготовка отчёта о проделанной лабораторной работе. Расчёт термодинамических величин на основе проведённых измерений, согласно описанию работы. Подготовка к тестированию знаний по теме лабораторной работы</p> <p><b><u>Подготовка к лабораторной работе:</u></b> Изучение термодинамических процессов на основе лекционного материала, соответствующих теме лабораторного исследования.</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение учебно-методического пособия к лабораторной работе. Подготовка протокола измерений к предстоящей лабораторной работе</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 319-335, 349-382, 417-439</p>
5.1	Циклы газотурбинных энергетических установок	12		2	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
5.2	Циклы паротурбинных установок	18		4	2	4	-	-	-	-	-	8	-	
5.3	Обратные термодинамические циклы	10		2	-	2	-	-	-	-	-	6	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	180.0		32	16	32	-	2	-	-	0.5	64	33.5	
	Итого за семестр	180.0		32	16	32	2		-		0.5	97.5		
6	Принципы теплообмена	12	5	4	-	-	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованных литературных источников по теме: "Принципы теплообмена"</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 7-22</p>
6.1	Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
6.2	Температурное поле. Изотер-мы. Градиент температуры.	6		2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	



	Плотность теплового потока													
7	Теплопроводность. Расчётное задание №1	28	4	4	8	-	-	-	-	-	12	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Теплопроводность. Расчётное задание №1"</p> <p><b><u>Проведение исследований:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы:</p> <p><b><u>Подготовка реферата:</u></b> В рамках реферативной части студенту необходимо провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизаданий по разделу "Теплопроводность. Расчётное задание №1". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения:</p> <p><b><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></b> Изучение дополнительного материала по разделу "Теплопроводность. Расчётное задание №1"</p> <p><b><u>Проведение эксперимента:</u></b> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:</p> <p><b><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></b> Изучение материала по разделу "Теплопроводность. Расчётное задание №1" подготовка к выполнению заданий на</p>	
7.1	Закон теплопроводности Фурье	16	2	4	4	-	-	-	-	-	6	-		
7.2	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий.	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-		



													<p>разделе "Теплопроводность. Расчётное задание №1" материалу.</p> <p><b><u>Подготовка курсового проекта:</u></b> Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей:</p> <p><b><u>Подготовка расчетно-графического задания:</u></b> В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие:</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 24-58</p>
8	Инженерные методы расчета тепло-массообмена в энергетических установках	24	4	4	8	-	-	-	-	-	8	-	<p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p> <p>[1], 379-392</p>
8.1	Расчет теплоотдачи в элементах теплообменных устройств	14	2	4	4	-	-	-	-	-	4	-	
8.2	Методы подобия и размерностей	10	2	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
9	Конвективный теплообмен	20	6	-	4	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b></p>
9.1	Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в	14	4	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<p>[1], 108-112,129-143,155-166</p> <p>[3], 151-177</p>

	дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.												
9.2	Автомодельные переменные.	6	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
10	Двухфазный теплообмен. Расчетное задание №2. Расчетное задание №3	24	8	-	4	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 226-262
10.1	Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз	14	4	-	2	-	-	-	-	-	8	-	
10.2	Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков	10	4	-	2	-	-	-	-	-	4	-	
11	Теплообмен излучением	36	6	8	8	-	-	-	-	-	14	-	
11.1	Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения	6	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
11.2	Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно черного	20	2	8	4	-	-	-	-	-	6	-	

	тела												
11.3	Излучение и поглощение нечерных тел	10		2	-	4	-	-	-	-	-	4	-
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5
	<b>Всего за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>33.5</b>
	<b>Итого за семестр</b>	<b>180.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>64</b>	<b>97.5</b>	
	<b>ИТОГО</b>	<b>360.0</b>	<b>-</b>	<b>64</b>	<b>32</b>	<b>64</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.0</b>	<b>64</b>	<b>195.0</b>	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Основные законы термодинамики и общие закономерности

1.1. Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа  
Терминология. Уравнение состояния идеального газа. Теплоёмкость. Расчёт процессов в идеальных газах, смеси идеальных газов.

1.2. Первый закон термодинамики  
Первый закон термодинамики для неподвижного рабочего тела. Первый закон термодинамики для одномерного стационарного потока.

1.3. Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства  
Второй закон термодинамики. Первая теорема Карно. Интеграл Клаузиуса. Энтропия. Вторая и третья теоремы Карно. Средняя интегральная температура подвода и отвода теплоты. Необратимость процессов.

1.4. Дифференциальные соотношения термодинамики  
Построение шаблона дифференциальных уравнений для вывода уравнений Максвелла. Построение основных уравнений Максвелла. Дифференциальные соотношения термодинамики в  $v, T$  - координатах. Дифференциальные соотношения термодинамики в  $p, T$  - координатах. Применение мнемонического квадрата для построения термодинамических соотношений. Расчёт калорических величин по данным термических величин.

### 2. Процессы идеального газа

2.1. Смеси идеальных газов  
Задание концентраций смесей. Взаимное преобразование концентраций. Массовая, молярная, объёмная концентрации. Расчёт заданной концентрации из данных по имеющейся. Расчёты концентраций по данным о парциальном давлении, либо объёме. Расчёт парциального давления с использованием закона Дальтона. Парциальное давление, парциальный объём компонента в смеси. Законы Дальтона-Амага. Расчёты процессов в смесях идеальных газов. Расчёт термодинамических функций смеси идеальных газов по табличным данным компонентов. Расчёт работы "разделения" смеси. Энтропия смешения. Энтропия смеси.

2.2. Процессы идеального газа  
Законы и уравнения идеального газа. Основные процессы идеального газа, соотношения параметров, теплота и работа процессов, расчет для газов с постоянной теплоёмкостью и для газов с теплоёмкостью, зависящей от температуры, теплота и техническая работа в потоке газа. Изображение процессов в  $p, v$ - и  $T, s$ - диаграммах.

### 3. Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара

3.1. Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар  
Потенциал парного взаимодействия молекул. Силы, обуславливающие взаимодействие молекул. Уравнения реального газа. Уравнение Ван-Дер-Ваальса. Константы уравнения Ван-Дер-Ваальса. Уравнение Майера-Боголюбова. Полная фазовая диаграмма реального вещества в  $p, v$  и  $T, s$  диаграмме и воды в частности. Таблицы свойств воды и водяного пара.. Расчёт процессов в воде и водяном паре с использованием табличных данных.

#### 4. Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел

##### 4.1. Истечение идеальных газов из сопел

Алгоритм расчёта параметров потока при истечении идеального газа из суживающегося сопла. Расчёт истечения идеального газа из сопла Лаваля. Расчёт геометрических размеров расширяющейся части сопла Лаваля.

##### 4.2. Истечение водяного пара из сопел различной конфигурации

Алгоритм расчёта параметров потока при истечении водяного пара из суживающегося сопла. Расчёт истечения водяного пара из сопла Лаваля. Расчёт геометрических размеров расширяющейся части сопла Лаваля. Особенности расчёта истечений с использованием табличных данных. Линейная интерполяция по табличным данным по двум аргументам.

##### 4.3. Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия

Адиабатное дросселирование. Дифференциальный и интегральный дроссель-эффект. Обращение в ноль дифференциального дроссель-эффекта, точка инверсии. Кривая инверсии.

#### 5. Термодинамические циклы тепловых, теплонасосных и холодильных установок

##### 5.1. Циклы газотурбинных энергетических установок

Расчёт технико-экономических характеристик газотурбинной установки (ГТУ), работающей по обыкновенному циклу Брайтона.. Расчёт технико-экономических характеристик регенеративного цикла ГТУ. Расчёт регенеративного цикла ГТУ с многоступенчатым сжатием и с многоступенчатым расширением рабочего тела.

##### 5.2. Циклы паротурбинных установок

Паротурбинная установка, работающая по обыкновенному циклу Ренкина. Расчёт технико-экономических показателей цикла. Расчёт средней температуры подвода теплоты. Расчёт технико-экономических показателей цикла с промежуточным перегревом пара. Расчёт технико-экономических показателей цикла с регенеративным подогревом питательной воды в смешивающих и поверхностных подогревателях за счёт отбора пара из турбины. Циклы атомных электростанций. Расчёт технико-экономических показателей цикла АЭС ВВЭР с предельной сепарацией пара и с применением промежуточного перегрева пара за счёт отбора части греющей воды. Бинарные циклы. Расчёт технико-экономических показателей цикла парогазовой энергетической установки.

##### 5.3. Обратные термодинамические циклы

Назначение холодильных циклов. Их технико-экономические показатели. Расчёт технико-экономических показателей воздушно-холодильных установок (ВХУ). Назначение элементов схем ВХУ. Схема и цикл паро-компрессионной холодильной установки (ПКХУ). Расчёт технико-экономических показателей ПКХУ. Тепло-насосные установки (ТНУ). Применение ТНУ. Расчёт технико-экономических показателей ТНУ.

#### 6. Принципы теплообмена

##### 6.1. Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен

Законы сохранения. Дифференциальные уравнения теплообмена. Общая форма балансового уравнения. Закон сохранения массы, уравнение неразрывности. Закон

сохранения 1-компонента, уравнение конвективной диффузии. Закон сохранения энергии, уравнение энергии. Закон сохранения импульса, уравнение движения.

6.2. Температурное поле. Изотермы. Градиент температуры. Плотность теплового потока Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Термодинамические соотношения и свойства теплоносителей.

## 7. Теплопроводность. Расчётное задание №1

### 7.1. Закон теплопроводности Фурье

Одномерные стационарные задачи теплопроводности. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Сферическая стенка. Теплопередача. Критический диаметр изоляции. Принципы интенсификации теплопередачи. Интенсификация посредством оребрения. Теплопроводность вдоль стержня. Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты. Плоское тело. Цилиндрическое тело.

7.2. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий.

Дифференциальные уравнения и краевые условия. Пластина. Цилиндр. Нестационарная теплопроводность тел, образованных пересечением пластин и цилиндров. Численные методы теплопроводности. Метод контрольного объема для получения конечно-разностных аппроксимаций уравнения теплопроводности. Явные и неявные численные методы. Метод прогонки. Обзор математических пакетов для численного анализа.

## 8. Инженерные методы расчета тепло-массообмена в энергетических установках

### 8.1. Расчет теплоотдачи в элементах теплообменных устройств

### 8.2. Методы подобия и размерностей

Теплоотдача при продольном обтекании пластины. Теплоотдача в поперечно-обтекаемых пучках труб. Теплоотдача в трубах. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах. Теплообмен и сопротивление при продольном обтекании пучков труб. Теплоотдача при свободной конвекции. Интенсификация теплообмена. Аналогия процессов тепло - и массообмена. Основные соотношения для расчета теплообменников. Типы теплообменников и схемы движения теплоносителей. Изменение температур теплоносителей и средний температурный напор для прямого, противотока и перекрестного тока. Эффективность теплообменника. Тепловой и гидравлический расчет теплообменников. Методы интенсификации теплопередачи. Методы оценки энергетической эффективности теплообменников.

## 9. Конвективный теплообмен

9.1. Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.

Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.



## 9.2. Автомодельные переменные.

Интегрирование уравнения Фолкнера-Скэн для пограничных слоев. Интегрирование уравнения теплового пограничного слоя. Интегрирование уравнений свободноконвективных пограничных слоев. Интегральный метод решения задач пограничного слоя. Законы трения, теплообмена, массообмена. Стандартные законы. Условия ламинарно-турбулентного перехода. Расчет теплоотдачи при различных тепловых граничных условиях на обтекаемой поверхности. Расчетные модели турбулентности в задачах конвективного теплообмена. Модели пути смешения. Дифференциальное уравнение переноса турбулентной энергии. Модель турбулентности  $k-\epsilon$ . Численное моделирование конвективного тепломассообмена и универсальные программы пакеты.

## 10. Двухфазный теплообмен. Расчетное задание №2. Расчетное задание №3

### 10.1. Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз

Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков. Теплообмен при кипении. Кривые кипения. Физика кипения. Модели теплообмена при пузырьковом кипении. Плотность центров парообразования. Рост пузырька пара в перегретой жидкости. Коэффициент теплоотдачи при пузырьковом кипении. Расчетные соотношения для кипения в большом объеме. Кризис кипения. Пленочное кипение. Кипение в трубах. Структура потока и режимы кипения. Диагностика кризисов кипения в зависимости от давления, массовой скорости и паросодержания. Теплообмен при конденсации. Пленочные течения. Теплообмен при конденсации на гравитационных ламинарных пленках жидкости. Гравитационные турбулентные пленки. Сдвиговые ламинарные пленки. Сдвиговые турбулентные пленки. Расчет трения на межфазной границе.

### 10.2. Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков

Универсальные аппроксимации для расчета теплообмена при конденсации. Конденсация на трубных пучках. Конденсация в трубах. Влияние примесей неконденсирующихся газов. Конденсация при непосредственном контакте на сплошных и диспергированных струях жидкости. Расчет тепломассообмена при конденсации парогазовой смеси.

## 11. Теплообмен излучением

### 11.1. Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения

### 11.2. Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно черного тела

Теплообмен излучением в прозрачной среде. Понятие углового коэффициента излучения. Расчет угловых коэффициентов. Замкнутая система поверхностей. Аналитические решения для простых систем. Примеры, приложения. Радиационные и конвективные тепловые потоки. Граничные условия. Задача об экранных поверхностях нагрева. Компьютерное моделирование.

### 11.3. Излучение и поглощение нечерных тел

Теплообмен излучением в системе с излучающим и поглощающим газом. Расчет излучения и поглощения газов. Уравнение переноса излучения. Замкнутая система поверхностей. Радиационно-конвективный теплообмен в камере сгорания. Компьютерное моделирование.

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

1. Основные термины и определения. Функции состояния и функции процесса. Первый закон термодинамики. Принцип эквивалентности, формулировки и уравнения первого закона термодинамики. Работа расширения, внутренняя энергия, энтальпия, теплоемкость. Первый закон термодинамики для потока вещества, уравнение неразрывности, техническая работа, энтальпия.;
2. Второй закон термодинамики. Формулировки второго закона термодинамики. Обратимые и не-обратимые процессы, причины необратимости. Цикл Карно, теоремы Карно. Энтропия, аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов, расчет энтропии.;
3. Законы и уравнения идеального газа. Основные процессы идеального газа, соотношения пара-метров, теплота и работа процессов, расчет для газов с постоянной теплоёмкостью и для газов с тепло-ёмкостью, зависящей от температуры, теплота и техническая работа в потоке газа. Изображение процессов в  $p,v$ - и  $T,s$ - диаграммах.;
4. Дифференциальные уравнения термодинамики. Характеристические функции, уравнения Макс-велла. Дифференциальные соотношения между калорическими и термическими функциями состояния.;
5. Смеси газов. Способы задания смеси, парциальные давления и объёмы, законы Дальтона и Ама-га. Термодинамические свойства смеси идеального газа.;
6. Термодинамические свойства реального газа, свойства влажного пара, линии фазовых переходов в термодинамических диаграммах ( $p,v$ -,  $p,T$ -,  $T,s$ - и  $h,s$ -), критическая точка, надкритическая область параметров состояния. Фазовые переходы, уравнение Клапейрона – Клаузиуса, правило фаз Гиббса. Термодинамические процессы реального газа. Теплота и работа процессов, теплота и техническая работа в потоке реального газа, изображение процессов в термодинамических диаграммах. Термические уравнения состояния реального газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса и вириальное уравнение состояния, вириальные коэффициенты. Подобие термодинамических свойств веществ,  $z, p$ - диаграмма.;
7. Параметры торможения. Процессы в соплах, расчет скорости и расхода газа и пара, коэффициенты скорости и расхода, изображение процессов в  $h,s$  - и  $p,v$  - диаграммах, влияние трения. Кризис течения, критические параметры потока, скорость звука. Закон обращения воздействия, геометрическое воздействие на поток, три режима истечения из суживающего сопла, сопло Лавалля. Процессы в диффузоре, влияние трения. Дросселирование. Основное уравнение адиабатного дросселирования, эффект Джоуля-Томсона, кривая инверсии, изображение процесса дросселирования в  $h,s$ - и  $T,s$ - диаграммах.;
8. Процессы в неохлаждаемых и охлаждаемых компрессорах. Изображение процессов в  $p,v$  - и  $h,s$  - диаграммах, удельная работа компрессоров, мощность привода. Процессы в многоступенчатом компрессоре;
9. Принципиальная схема паротурбинной установки (ПТУ) и цикл Ренкина. Удельная работа, подведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ПТУ, изображение циклов в  $T,s$ - и  $h, s$ - диаграммах. Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД цикла Ренкина. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Цикл ПТУ с регенеративным подогревом питательной воды;
10. Цикл простой газотурбинной установки (ГТУ). Удельная работа и подведенная теплота, термический и внутренний КПД цикла, мощность ГТУ, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме. Влияние параметров газа на КПД цикла;
11. Бинарные циклы;термодинамический цикл парогазовой установки (ПГУ) с котлом-утилизатором, изображение цикла в  $T,s$ - диаграмме, мощность ПГУ, КПД цикла.;

12. Обратные термодинамические циклы. Циклы холодильных установок. Холодопроизводительность, холодильный коэффициент и эксергетический КПД установок.;
13. Термодинамические циклы теплонасосных установок. Обратный цикл Карно – цикл теплонасосной установки (ТНУ). Принципиальная схема и цикл парокомпрессионных ТНУ в T,s- диаграмме, отопительный коэффициент и эксергетический КПД, мощность привода.;
14. Термодинамические процессы во влажном воздухе. Расчёт процессов с использованием h-d диаграммы;
15. Расчет характеристик двухфазных потоков. Расчет теплоотдачи при кипении в трубах. Расчет кризисов 2-го рода.;
16. Расчет теплообмена при конденсации пара на поверхности вертикальной пластины (трубы). Расчет теплообмена при конденсации пара на поверхности горизонтальной трубы.;
17. Расчет угловых коэффициентов излучения для сложных систем.;
18. Расчет теплоотдачи при кипении на поверхности. Расчет кризисов кипения 1-го рода.;
19. Законы излучения. Расчет теплообмена излучением для простых систем.;
20. Расчет теплоотдачи и гидравлического сопротивления при течении однофазной жидкости в трубах и каналах.;
21. Расчет теплопередачи через плоские, цилиндрические и сферические стенки.;
22. Расчет теплоотдачи при вынужденной конвекции (обтекании горизонтальной пластины).;
23. Расчет теплоотдачи при свободной конвекции.;
24. Расчет нестационарной теплопроводности пластины и цилиндра.;
25. Расчет теплопередачи через ребреные поверхности.;
26. Расчет теплопередачи через цилиндрические трубы с изоляцией. Расчет критического диаметра изоляции.;
27. Расчет результирующих потоков излучения для сложных систем.;
28. Расчет теплоотдачи и гидравлического сопротивления в трубных пучках.;
29. Расчет теплообмена излучением в системе с излучающим и поглощающим газом..

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Теплообмен излучением.;
2. Теплообмен при кипении. Теплообмен при конденсации.;
3. Теплообмен при свободной конвекции. Теплообмен при вынужденной конвекции.;
4. Стационарная теплопроводность. Нестационарная теплопроводность..

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Изучение алгоритма решения расчётного задания №2. Ознакомление с примерами расчёта процессов в бинарных смесях и правилами представления результатов расчётов

#### Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Методы расчёта параметров и функций состояния с помощью таблиц ВТИ и МЭИ
2. Использование доступных Web-ресурсов для расчёта термодинамических процессов
3. Обсуждение материала по разделу: "Дифференциальные соотношения термодинамики"

4. Обсуждение материала по разделу: "Процессы в реальных газах" с точки зрения молекулярного строения вещества
5. Обсуждение материала по разделу: "Расчёты процессов в водяном паре"
6. Обсуждение материала по разделу: "Истечение и дросселирование газов и паров"
7. Обсуждение материала по разделу: "Расчёт термодинамических циклов ГТУ"
8. Обсуждение материала по разделу: "Расчёт термодинамических циклов ПТУ"
9. Обсуждение материала по разделу: "Лабораторный практикум по технической термодинамике"

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

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

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

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)											Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
<b>Знать:</b>														
основные законы термодинамики и условия их применения	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>	+												Контрольная работа/Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара
методы расчета термодинамических процессов идеального и реального газ	ИД-1 <sub>ОПК-4</sub>		+	+										Тестирование/Защита лабораторных работ № 1-4 Расчетно-графическая работа/Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах
основные принципы теплообмена и методы математического моделирования теплообменных процессов и установок	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>												+	Контрольная работа/Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»
методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>						+	+						Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10
методики расчета теплообменных аппаратов ТЭС, АЭС и принципы и методы интенсификации	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>									+				Контрольная работа/Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты"

теплопередачи													
основные источники научно-технической информации о новых разработках в области теплообмена	ИД-3ОПК-4								+				Расчетно-графическая работа/Расчетное задание
основные источники информации о теплофизических свойствах теплоносителей	ИД-1ОПК-6										+		Контрольная работа/Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты"
основные принципы измерения физических величин, обработки результатов измерений и оценки погрешность	ИД-2ОПК-6											+	Коллоквиум/Защита лабораторной работы №17 Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10
<b>Уметь:</b>													
анализировать, выбирать и применять методы расчета основных характеристик термодинамических циклов холодильных, теплосиловых и теплонасосных установок	ИД-1ОПК-4								+				Контрольная работа/Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок
самостоятельно выбирать и применять методы расчета термодинамических свойств идеального и реального газа	ИД-1ОПК-4											+	Решение задач/Расчетное задание 1.1. Расчет состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ
применять основные понятия, термины и законы термодинамики для описания физических процессов, происходящих в техническом оборудовании	ИД-1ОПК-4											+	Контрольная работа/Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лавалья.
самостоятельно ставить и решать	ИД-3ОПК-4												Коллоквиум/Защита лабораторной работы

задачи теплогидравлических процессов и выполнять численные расчеты												№17 Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»
разрабатывать компьютерные модели теплогидравлических процессов	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>							+	+			Расчетно-графическая работа/Расчетное задание
самостоятельно анализировать процессы тепломассообмена и принимать оптимальные решения при конструировании и эксплуатации тепломассообменного оборудования	ИД-3 <sub>ОПК-4</sub>									+		Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36  Контрольная работа/Контрольная работа «Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением»  Контрольная работа/Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты"
пользоваться справочными данными теплофизических свойств рабочих тел и теплоносителей	ИД-1 <sub>ОПК-6</sub>									+		Коллоквиум/Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

#### **4 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторных работ № 1-4 (Тестирование)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лавалья. (Контрольная работа)
3. Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок (Контрольная работа)
4. Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ (Решение задач)
5. Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах (Расчетно-графическая работа)

#### **5 семестр**

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум)
2. Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 (Коллоквиум)
3. Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением» (Контрольная работа)
3. Расчетное задание (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №4)

Итоговая оценка = оценка за текущий контроль  $\times 0,4$  + оценка за промежуточный контроль  $\times 0,6$

Экзамен (Семестр №5)

Итоговая оценка = оценка за текущий контроль  $\times 0,4$  + оценка за промежуточный контроль  $\times 0,6$

В диплом выставляется оценка за 5 семестр.



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

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

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

1. Исаченко, В. П. Теплопередача : Учебник для энергетических вузов и факультетов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел . – 4-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоиздат, 1981 . – 416 с.;
2. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин . – 5-е изд., перераб. и доп . – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 496 с. - ISBN 978-5-383-00263-6 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4174](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4174);
3. "Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн. 2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник", (4-е изд., стереот.), Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2007 - (564 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72301](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72301);
4. А. В. Козырев- "Термодинамика и молекулярная физика", Издательство: "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники", Томск, 2012 - (113 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208984>.

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Acrobat Reader;
4. SmathStudio.

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

1. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -  
[http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
2. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
3. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
4. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
5. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
6. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
7. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
8. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
9. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
10. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
11. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
12. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
13. База данных издательства Annual Reviews Science Collection -  
<https://www.annualreviews.org/>
14. База данных Association for Computing Machinery Digital Library -  
<https://dl.acm.org/about/content>
15. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
16. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-205, Учебная аудитория	парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, колонки
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-412, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
	Б-413, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	В-209/9, Учебная лаборатория теплообмена	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
	В-205, Учебная лаборатория технической термодинамики	рабочее место сотрудника, стол преподавателя, стол, шкаф для документов, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд, компьютер персональный, инвентарь специализированный, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Б-412, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
	Б-413, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-303, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
	П-28, Комната для самостоятельных занятий студентов	
Помещения для консультирования	В-408, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стул, шкаф для одежды, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, лабораторный стенд,

		техническая аппаратура, компьютер персональный, принтер
	В-203, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Термодинамика и тепло- и массообмен

(название дисциплины)

#### 4 семестр

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

- КМ-1 Расчетное задание 1.1. Расчёт состояний в идеальных газах с помощью таблиц ВТИ и МЭИ (Решение задач)
- КМ-2 Контрольная работа №1.1. Расчет термодинамических процессов идеального газа с учетом зависимости теплоёмкости газа от температуры. Контрольная работа №1.2. Определение термодинамических свойств и расчет процессов воды и водяного пара (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчетное задание 1.2. Расчёт цикла смеси идеальных газов в 5 процессах (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Контрольная работа №1.3. Расчет процессов в суживающихся соплах и соплах Лавая. (Контрольная работа)
- КМ-5 Контрольная работа №1.4. Расчет термодинамических циклов паротурбинных и газотурбинных установок (Контрольная работа)
- КМ-6 Защита лабораторных работ № 1-4 (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6
		Неделя КМ:	4	12	14	15	15	16
1	Основные законы термодинамики и общие закономерности							
1.1	Введение, основные законы термодинамики, свойства и процессы идеального газа		+	+				
1.2	Первый закон термодинамики		+	+				
1.3	Второй закон термодинамики. Теоремы Карно, Энтропия и её свойства		+	+				
1.4	Дифференциальные соотношения термодинамики			+				
2	Процессы идеального газа							
2.1	Смеси идеальных газов				+			+
2.2	Процессы идеального газа				+			+
3	Процессы в реальных газах. Свойства воды и водяного пара							
3.1	Основы молекулярного строения реального вещества. Агрегатные состояния веществ. Водяной пар				+			+

4	Процессы течения газов и паров. Понятие сопла и диффузора. Процессы дросселирования рабочих тел						
4.1	Истечение идеальных газов из сопел				+		
4.2	Истечение водяного пара из сопел различной конфигурации				+		
4.3	Процессы дросселирования газов и паров. Инверсия				+		
5	Термодинамические циклы теплосиловых, теплонасосных и холодильных установок						
5.1	Циклы газотурбинных энергетических установок					+	
5.2	Циклы паротурбинных установок					+	
5.3	Обратные термодинамические циклы					+	
6	Лабораторный практикум по тепломассообмену						
Вес КМ, %:		10	30	20	15	15	10

### 5 семестр

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

- КМ-7 Защита одной из лабораторных работ №1, №2, №3, №30, №36 (Коллоквиум)
- КМ-8 Контрольная работа "Теплопроводность, конвективный теплообмен, теплообменные аппараты" (Контрольная работа)
- КМ-9 Контрольная работа « Теплообмен при фазовых переходах, теплообмен излучением» (Контрольная работа)
- КМ-10 Защита лабораторной работы №17 (Коллоквиум)
- КМ-11 Расчетное задание (Расчетно-графическая работа)
- КМ-12 Защита одной из лабораторных работ №13, №32, №37, №7, №9, №10 (Коллоквиум)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-7	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11	КМ-12
		Неделя КМ:	14	8	10	12	4	16
1	Принципы тепломассобмена							
1.1	Законы переноса теплоты, вещества, импульса. Теплообмен		+					+
1.2	Температурное поле. Изотер-мы. Градиент температуры. Плотность теплового потока		+					+
2	Теплопроводность. Расчётное задание №1							

2.1	Закон теплопроводности Фурье	+				+	+
2.2	Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия. Типы граничных условий.					+	
3	Инженерные методы расчета тепло-массообмена в энергетических установках						
3.1	Расчет теплоотдачи в элементах теплообменных устройств		+				
3.2	Методы подобия и размерностей					+	
4	Конвективный теплообмен						
4.1	Теория пограничного слоя. Оценка порядка величин в дифференциальных уравнениях конвективного теплообмена для течений с большими числами Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Преобразование подобия.	+	+	+	+	+	+
4.2	Автомодельные переменные.		+			+	
5	Двухфазный теплообмен. Расчетное задание №2. Расчетное задание №3						
5.1	Условия динамического и теплового взаимодействия на поверхности раздела фаз			+	+		
5.2	Структуры, режимы и количественные характеристики двухфазных потоков			+	+		
6	Теплообмен излучением						
6.1	Основные понятия и законы. Количественные характеристики излучения			+			
6.2	Классификация потоков излучения. Закон Кирхгофа. Законы излучения абсолютно черного тела			+			
6.3	Излучение и поглощение нечерных тел			+			
Вес КМ, %:		20	15	15	15	15	20