

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии
[2] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
5	3	108	32	16	16		44	0	3
Итого	3	108	32	16	16	16	44	0	

АННОТАЦИЯ

Целью освоения учебной дисциплины является решение двуединой задачи – базовой профессиональной подготовки специалистов - теплофизиков и формирования у них современного физического мировоззрения. В курсе систематически рассматриваются исходные понятия, основные законы и уравнения равновесной термодинамики. Излагаются вопросы применения методов термодинамики к исследованию равновесия и устойчивости однородных и многофазных систем, реальных газов, жидкостей и их потоков, циклов преобразования энергии. В части практических приложений основное внимание обращается на применение термодинамических методов для анализа процессов, происходящих в ядерных энергетических установках, а также вопросам энергоэффективности и экологии энергетических объектов.

Заключительные разделы курса посвящены основам неравновесной термодинамики. Рассматриваются принципы и феноменологические уравнения линейной неравновесной термодинамики, критерии устойчивости неравновесных систем, а также элементы нелинейной термодинамики, теории диссипативных структур и самоорганизации материи

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является решение двуединой задачи – базовой профессиональной подготовки специалистов - теплофизиков и формирования у них современного физического мировоззрения. В курсе систематически рассматриваются исходные понятия, основные законы и уравнения равновесной термодинамики. Излагаются вопросы применения методов термодинамики к исследованию равновесия и устойчивости однородных и многофазных систем, реальных газов, жидкостей и их потоков, циклов преобразования энергии. В части практических приложений основное внимание обращается на применение термодинамических методов для анализа процессов, происходящих в ядерных энергетических установках, а также вопросам энергоэффективности и экологии энергетических объектов.

Заключительные разделы курса посвящены основам неравновесной термодинамики. Рассматриваются принципы и феноменологические уравнения линейной неравновесной термодинамики, критерии устойчивости неравновесных систем, а также элементы нелинейной термодинамики, теории диссипативных структур и самоорганизации материи

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

В результате освоения данной дисциплины студент должен знать основные понятия, методы, законы и уравнения технической термодинамики, а также их основные следствия применительно к различным системам, включая ядерные энергетические установки.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
<p>Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов</p>	<p>ПК-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-2[1] - знать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; ; У-ПК-2[1] - уметь использовать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;</p>
<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный</p>	<p>ПК-2 [2] - Способен к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке соответствующих экспериментальных стендов</p> <p><i>Основание:</i></p>	<p>З-ПК-2[2] - Знать методы проведения физического и численного эксперимента, и подготовки соответствующих экспериментальных стендов.; У-ПК-2[2] - Уметь проводить</p>

<p>нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>	<p>Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>физический и численный эксперимент, подготовить соответствующие экспериментальные стенды; В-ПК-2[2] - Владеть методами проведения физического и численного эксперимента и подготовки соответствующих экспериментальных стендов.</p>
<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений</p>	<p>ПК-3 [2] - Способен к участию в исследовании и испытании основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032</p>	<p>З-ПК-3[2] - Знать методы проведения исследований и испытаний основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания.; У-ПК-3[2] - Уметь проводить исследования и испытания основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания ; В-ПК-3[2] - Владеть методами проведения</p>

	<p>и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>		<p>исследований и испытаний основного оборудования атомных электростанций в процессе разработки и создания.</p>
<p>Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований,</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов</p>	<p>ПК-7.2 [1] - Способен к проведению физических экспериментов на основе апробированной методики с целью определения теплофизических и нейтронно-физических параметров ЯЭУ различного назначения</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-7.2[1] - знать методы проведения исследований теплофизических и нейтронно-физических процессов; У-ПК-7.2[1] - уметь проводить экспериментальные исследования по заданной методике; В-ПК-7.2[1] - владеть методами анализа погрешности физических экспериментов</p>

неравновесных физических процессов			
------------------------------------	--	--	--

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с

<p>Профессиональное воспитание</p>	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)</p>	<p>использованием новых информационных технологий.</p> <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.
------------------------------------	---	---

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
<i>5 Семестр</i>							
1	Основные понятия и исходные положения. Основные законы и уравнения термодинамики.	1-8	16/8/8		25	КИ-8	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-7.2, У-ПК-7.2, В-ПК-7.2
2	Циклы энергетических установок. Обратимые и необратимые термодинамические процессы.	9-15	16/8/8		25	КИ-15	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-

							ПК-3, 3-ПК- 7.2, У- ПК- 7.2, В- ПК- 7.2
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		32/16/16		50		
	Контрольные мероприятия за 5 Семестр				50	3	3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 2, У- ПК-2, В- ПК-2, 3-ПК- 3, У- ПК-3, В- ПК-3, 3-ПК- 7.2, У- ПК- 7.2, В- ПК- 7.2

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недел	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.	Лаб.,
-------	---------------------------	-------	----------	-------

и		час.	, час.	час.
	<i>5 Семестр</i>	32	16	16
1-8	Основные понятия и исходные положения. Основные законы и уравнения термодинамики.	16	8	8
1	Введение. История развития термодинамики. Задачи термодинамики. Современные проблемы термодинамики	Всего аудиторных часов		
		3	2	2
		Онлайн		
2	Основные понятия и исходные положения. Термодинамические системы. Термодинамические переменные. Гомогенные и гетерогенные системы. Постулаты термодинамики. Равновесные и неравновесные термодинамические состояния. Параметры состояния. Уравнение состояния. Термодинамические коэффициенты. Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Полиетропные процессы.	Всего аудиторных часов		
		3	2	2
		Онлайн		
3	Основные законы и уравнения термодинамики. Первый закон термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Внутренняя энергия и внешняя работа. Обобщенные силы и обобщенные координаты. Химический потенциал. Второй закон термодинамики. Энтропия. Основное уравнение термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность. Третий закон термодинамики.	Всего аудиторных часов		
		3	1	1
		Онлайн		
4 - 5	Методы термодинамики. Метод термодинамических циклов. Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц. Дифференциальные уравнения термодинамики в частных производных. Метод термодинамического подобия. Переход от одной системы термодинамических координат к другой.	Всего аудиторных часов		
		3	1	1
		Онлайн		
6	Равновесие термодинамических систем. Необходимые условия термодинамического равновесия. Устойчивость равновесия. Равновесие в гетерогенной системе. Правило фаз Гиббса. Условия фазового равновесия. Спинодаль и бинодаль. Метастабильные состояния. Критическая точка. Термодинамические флуктуации. Фазовые диаграммы.	Всего аудиторных часов		
		2	1	1
		Онлайн		
7 - 8	Фазовые переходы. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста. Переход жидкость-пар. Термодинамические параметры парожидкостной системы.	Всего аудиторных часов		
		2	1	1
		Онлайн		
9-15	Циклы энергетических установок. Обратимые и необратимые термодинамические процессы.	Всего аудиторных часов		
		16	8	8
		Онлайн		
9	Термодинамика потока. Система уравнений одномерного течения газа. Критическая скорость истечения. Переход через скорость	Всего аудиторных часов		
		3	2	2
		Онлайн		

	звука. Сопло Лавала. Потери на трение. Дросселирование. Адиабатическое расширение.	0	0	0
10	Эффективность циклов теплосиловых установок. Термодинамические циклы энергетических установок. Термический и эффективный к.п.д. Эксергия. Анализ потерь работоспособности. Регенерация теплоты в цикле.	Всего аудиторных часов		
		3	2	2
		Онлайн		
11	Циклы энергетических установок. Циклы паросиловых установок с насыщенным и перегретым паром. Влияние параметров цикла на к.п.д. паросиловой установки. Газотурбинные циклы с адиабатным и изотермическим сжатием. Бинарные циклы. Парогазовые циклы. Циклы ядерных энергетических установок.	Всего аудиторных часов		
		3	1	1
		Онлайн		
12	Обратимые и необратимые термодинамические процессы. Причины необратимости. Релаксация в термодинамической системе. Квазиравновесный процесс. Принцип локального термодинамического равновесия. Термодинамические флуктуации.	Всего аудиторных часов		
		3	1	1
		Онлайн		
13 - 14	Линейная неравновесная термодинамика. Линейные феноменологические законы. Термодинамические потоки и силы. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарные процессы переноса. Диффузия, теплопроводность. Перекрестные явления переноса. Термоэлектрические явления и термодиффузия.	Всего аудиторных часов		
		2	1	1
		Онлайн		
15 - 16	Основы линейной неравновесной термодинамики. Системы, далекие от равновесия. Критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина. Пространственные диссипативные структуры. Ячейки Бенара. Временные и пространственно – временные диссипативные структуры. Экологические системы. Реакция Белоусова – Жаботинского.	Всего аудиторных часов		
		2	1	1
		Онлайн		

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	5 Семестр

1 - 2	Лабораторная установка № 1. «Определение теплоемкости твердых тел» Работа №1. Определение теплоемкости калориметра.
3 - 4	Лабораторная установка № 1. «Определение теплоемкости твердых тел» Работа №2. Экспериментальное определение теплоемкости образцов по измерениям силы тока, напряжения, температуры и времени нагрева и охлаждения образцов.
5 - 6	Лабораторная установка № 2. «Измерения давлений, расходов и температур в системах водо- и газоснабжения» Работа №1. Приборы измерения температуры. Терморезистивный преобразователь. Интегральный датчик температуры.
7	Лабораторная установка № 2. «Измерения давлений, расходов и температур в системах водо- и газоснабжения» Работа №2. Приборы измерения давления воды. Стрелочный деформационный манометр. Датчик давления деформационного мембранного типа.
8	Лабораторная установка № 2. «Измерения давлений, расходов и температур в системах водо- и газоснабжения» Работа №3. Приборы измерения давления газа. Пьезорезистивный датчик давления. Дифференциальный манометр.
9 - 10	Лабораторная установка № 2. «Измерения давлений, расходов и температур в системах водо- и газоснабжения» Работа №1. Приборы и методы определения расхода воды. Объемный способ. Счетчик количества воды. Определение расхода по падению давления на мерной диафрагме.
11 - 12	Лабораторная установка № 2. «Измерения давлений, расходов и температур в системах водо- и газоснабжения» Работа №2. Приборы и методы определения расхода газа. Анемометр. Измерительная диафрагма. Ротамер. Счетчик газа.
13 - 14	Лабораторная установка № 3. «Теплотехника жидкости» Работа №1. Определение коэффициента теплопередачи при движении жидкости в трубе при различных скоростях.
15 - 16	Лабораторная установка № 3. «Теплотехника жидкости» Работа №2. Определение вязкости жидкости при различной температуре по теории ламинарного течения.

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	5 Семестр

1 - 2	Исходные понятия и основные законы термодинамики. Термодинамические коэффициенты. Первый, второй и третий законы термодинамики. Основное уравнение термодинамики. Уравнение состояния.
3 - 4	Методы термодинамики. Метод циклов. Метод термодинамических потенциалов. Соотношения Максвелла. Переход от одной системы термодинамических координат к другой. Метод термодинамического подобия.
5 - 6	Термодинамическое равновесие. Необходимое условие термодинамического равновесия. Устойчивость равновесия. Фазовое равновесие. Фазовые диаграммы.
7 - 8	Фазовые переходы. Фазовые переходы первого рода. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела. Фазовые переходы второго рода
9 - 10	Процессы в газе, влажном и перегретом паре. Термодинамика идеального и реального газов. Эффект Джоуля – Томпсона. Изэнтропное расширение газа. Термодинамические параметры парожидкостной системы.
11 - 12	Термодинамика потока. Система уравнений термодинамического состояния движущегося газа. Потери энергии на трение. Критическая скорость истечения. Сопло Лавалья.
13 - 14	Циклы энергетических установок Термический и эффективный КПД цикла. Регенерация теплоты в цикле. Паросиловые и газовые циклы
15 - 16	Неравновесная термодинамика. Основные понятия и определения. Процессы переноса. Диссипативные структуры.

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>5 Семестр</i>
1	Введение. История развития термодинамики. Задачи термодинамики. Современные проблемы термодинамики
2	Основные понятия и исходные положения. Термодинамические системы. Термодинамические переменные. Гомогенные и гетерогенные системы. Постулаты термодинамики. Равновесные и неравновесные термодинамические состояния. Параметры состояния. Уравнение состояния. Термодинамические коэффициенты. Основные термодинамические процессы. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Политропные процессы.
3	Основные законы и уравнения термодинамики. Первый закон термодинамики. Принцип эквивалентности теплоты и работы. Внутренняя энергия и внешняя работа. Обобщенные силы и обобщенные координаты.

	Химический потенциал. Второй закон термодинамики. Энтропия. Основное уравнение термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность. Третий закон термодинамики.
4 - 5	Методы термодинамики. Метод термодинамических циклов. Метод термодинамических потенциалов. Термодинамические потенциалы сложных систем и систем с переменным числом частиц. Дифференциальные уравнения термодинамики в частных производных. Метод термодинамического подобия. Переход от одной системы термодинамических координат к другой.
6	Равновесие термодинамических систем. Необходимые условия термодинамического равновесия. Устойчивость равновесия. Равновесие в гетерогенной системе. Правило фаз Гиббса. Условия фазового равновесия. Спинодаль и бинодаль. Метастабильные состояния. Критическая точка. Термодинамические флуктуации. Фазовые диаграммы.
7 - 8	Фазовые переходы. Классификация фазовых переходов. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста. Переход жидкость-пар. Термодинамические параметры парожидкостной системы.
9	Термодинамика потока. Система уравнений одномерного течения газа. Критическая скорость истечения. Переход через скорость звука. Сопло Лавала. Потери на трение. Дросселирование. Адиабатическое расширение.
10	Эффективность циклов теплосиловых установок. Термодинамические циклы энергетических установок. Термический и эффективный к.п.д. Эксергия. Анализ потерь работоспособности. Регенерация теплоты в цикле.
11	Циклы энергетических установок. Циклы паросиловых установок с насыщенным и перегретым паром. Влияние параметров цикла на к.п.д. паросиловой установки. Газотурбинные циклы с адиабатным и изотермическим сжатием. Бинарные циклы. Парогазовые циклы. Циклы ядерных энергетических установок.
12	Обратимые и необратимые термодинамические процессы. Причины необратимости. Релаксация в термодинамической системе. Квазиравновесный процесс. Принцип локального термодинамического равновесия. Термодинамические флуктуации.
13 - 14	Линейная неравновесная термодинамика. Линейные феноменологические законы. Термодинамические потоки и силы. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарные процессы переноса.

	Диффузия, теплопроводность. Перекрестные явления переноса. Термоэлектрические явления и термодиффузия.
15 - 16	Основы линейной неравновесной термодинамики. Системы, далекие от равновесия. Критерий эволюции Гленсдорфа – Пригожина. Пространственные диссипативные структуры. Ячейки Бенара. Временные и пространственно – временные диссипативные структуры. Экологические системы. Реакция Белоусова – Жаботинского.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (компьютерные практикумы, разбор домашних заданий, система контрольно-измерительных материалов, включая тесты) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
ПК-7.2	З-ПК-7.2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-7.2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-7.2	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 Б81 Курс общей физики Кн. 3 Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества, Москва: Юрайт, 2013
2. ЭИ Л 69 Примеры и задачи по тепломассообмену : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2019
3. ЭИ К84 Руководство по технической термодинамике с примерами и задачами : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

4. 536 К84 Руководство по технической термодинамике с примерами и задачами : учебное пособие для вузов, А. Б. Круглов, И. С. Радовский, В. С. Харитонов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 53 С34 Общий курс физики Т.2 Термодинамика и молекулярная физика, Москва: Физматлит, 2011

2. 621.039 Ф50 Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2014

3. 536 К59 Краткое руководство по термодинамике Ч.1 Равновесная термодинамика, , М.: МИФИ, 1991

4. 52 С28 Теория орбит : ограниченная задача трех тел, , : Наука, 1982

5. 621.3 Т34 Теплоэнергетика и теплотехника Кн.3 Тепловые и атомные электростанции, , Москва: МЭИ, 2007

6. 621 А46 Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара : справочник. Таблицы рассчитаны по уравнениям Международной ассоциации по свойствам воды и водяного пара и рекомендованы Государственной службой стандартных справочных данных ГСССД Р-776-98, А. А. Александров, Б. А. Григорьев, Москва: МЭИ, 2006

7. 621 П18 Паровые и газовые турбины для электростанций : учебник для вузов, А. Г. Костюк [и др.], Москва: МЭИ, 2008

8. 621.38 Л12 Лабораторный практикум по курсу "Физика микроэлектронных структур" : , Абрамов В.В., Беляков В.В., Першенков В.С., Швецов-Шиловский И.Н., Москва: МИФИ, 1994

9. 621.1 К43 Техническая термодинамика : учебник для вузов, В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин, Москва: МЭИ, 2008

10. 536 Н73 Термодинамика : учебное пособие, И. И. Новиков, Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2009

11. 536 П75 Современная термодинамика : от тепловых двигателей до диссипативных структур, И. Пригожин, Д. Кондепуди, Москва: Мир, 2002

12. 536 Б17 Термодинамика : Учеб. пособие для вузов, И.П. Базаров, М.: Высш. школа, 1976

13. 621.3 К44 Термический КПД паротурбинных установок : Учеб. пособие, Киселев Н.П., Радовский И.С., М.: МИФИ, 1992

14. 536 Л12 Лабораторный практикум по термодинамике : учебное пособие для вузов, Л. С. Кокорев [и др.], Москва: МИФИ, 2008

15. 536 К59 Сборник задач по равновесной термодинамике : Учеб. пособие, Л. С. Кокорев, В. П. Соболев, Москва: МИФИ, 1991

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

При составлении программы учебной дисциплины предполагалось, что студент знаком с содержанием основных разделов курсов «Высшей математики» и «Общей физики». Приобрел начальную практику выполнения и обработки результатов экспериментальных работ в учебных физических лабораториях.

В результате освоения данной дисциплины студент должен знать основные понятия, методы, законы и уравнения термодинамики, а также их основные следствия применительно к различным термодинамическим системам, включая ядерные энергетические установки.

Должен научиться использовать методы термодинамики применительно к исследованию равновесия и устойчивости однородных и многофазных систем, реальных газов, жидкостей и их потоков, циклов преобразования энергии.

Программой курса предусмотрено, что студент должен продемонстрировать результаты освоения методов термодинамики в рамках самостоятельной работы при выполнении домашних заданий, курсовой работы, анализе результатов лабораторных работ, а также в последующей учебной практике при расчетном анализе термодинамической эффективности энергетических установок.

Знания и умения, приобретенные студентом при освоении данной дисциплины, необходимы для успешного изучения ряда последующих дисциплин, включенных в рабочий учебный план.

Типичные задачи для семинарских занятий с методическими указаниями для их решения представлены в учебном пособии: Кокорев Л.С., Соболев В.П. Сборник задач по равновесной термодинамике: Учебное пособие. – М.: МИФИ. 1991.

При самостоятельной проработке заданного раздела лекционного курса рекомендуется воспользоваться следующим учебником: Базаров Н.П. Термодинамика: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа. 1991. – 376с. В качестве дополнительной литературы рекомендуется учебник: Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. – М.: Мир, 2002. – 461 с.

Для выполнения расчетов студентам рекомендуется воспользоваться прикладными математическими пакетами символьной математики, например Mathcad, Mathematica. Отчеты по лабораторным работам и курсовая работа должны оформляться с использованием текстовых редакторов и средств машинной графики.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Лекционный курс строится по следующему плану: сначала вводятся и обсуждаются основные понятия и исходные положения термодинамики, излагаются основные законы и уравнения. Потом рассматриваются методы термодинамики, с помощью которых разбираются важнейшие энергетические приложения термодинамики: свойства рабочих тел, процессы течения газов и жидкостей, циклы преобразования энергии в энергетических установках, в том числе в ядерных.

С целью выработки профессиональных компетенций студентов на лекциях и семинарских занятиях используется интерактивная форма проведения лекционных (20%) и семинарских занятий (75%). Активная форма проведения лекционных занятий предполагает, в частности, что студенты углубленно изучают по рекомендуемой преподавателем литературе те разделы лекционного курса, которые не рассматриваются детально на лекциях, но необходимы для дальнейшего изучения курса.

При выполнении расчетных работ по циклам паротурбинных энергетических установок предусмотрено использование программы WaterSteamPro. Расчеты сопла Лаваля желательно проводить с использованием математических пакетов символьной математики, например Mathcad, Mathematica.

Самостоятельная работа студентов включает решение задач из сборника задач (Кокорев Л.С., Соболев В.П. Сб. задач по равновесной термодинамике: Учебное пособие. – М.: МИФИ. 1991) по различным разделам курса.

Автор(ы):

Круглов Александр Борисович, к.ф.-м.н.

Харитонов Владимир Степанович, к.т.н., с.н.с.

Рецензент(ы):

доцент Куценко К.В., доцент Корсун А.С.