

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] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

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

## АННОТАЦИЯ

Целью освоения учебной дисциплины является решение двуединой задачи – базовой профессиональной подготовки выпускников 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 формирование в процессе подготовки будущих выпускников, способных с привлечением методов термодинамики производить анализ эффективности циклов теплоэнергетических систем и установок, выполнять расчеты и проектирование различных видов тепловых двигателей, а также компрессоров; всевозможного теплотехнического оборудования: сушильного, холодильного, теплонасосного и т.п., основываясь на свойствах рабочих тел и теплоносителей. В процессе освоения учебной дисциплины решаются задачи базовой профессиональной подготовки специалистов (теплофизиков) и формирования у них современного физического мировоззрения.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для изучения данной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

- студент должен знать смысл основных физических явлений, фундаментальных понятий; законы классической и современной физики;
- уметь применять полученные знания при изучении теплотехнических дисциплин и решении практических задач теплоэнергетического профиля;
- владеть методами физического эксперимента и обработки экспериментальных данных.

Результаты освоения дисциплины используются при изучении последующих учебных дисциплин: «Тепломассообмен» и др.

### 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;<br>Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)  | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции  |
|--|--|---|--|
| научно-исследовательский   |  |   |  |
| Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках | Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий | <p>ПК-1 [1] - способен создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов</p> <p><i>Основание:</i><br/>Профессиональный стандарт: 24.078</p> | <p>З-ПК-1[1] - Знать нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов ;<br/>У-ПК-1[1] - Уметь создавать теоретические и математические модели в профессиональной области ;<br/>В-ПК-1[1] - Владеть навыками работы с современными расчетными программными средствами</p> |
| Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках | Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий | ПК-2 [1] - способен к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования   | <p>З-ПК-2[1] - Знать методы исследования и расчета процессов, происходящих в реакторных установках ;<br/>У-ПК-2[1] - Уметь рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в реакторных установках</p>  |

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
|  |  | тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и методик оценки количественных характеристик ядерных материалов<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.078  | ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками применения информационных технологий при разработке новых установок, материалов и приборов   |
| Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках | Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий | ПК-3 [1] - способен использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения<br><br><i>Основание:</i><br>Профессиональный стандарт: 24.078 | З-ПК-3[1] - Знать основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и теплопереноса практической деятельности и исследовательской работе; В-ПК-3[1] - Владеть навыками анализа, синтеза и нахождения закономерностей при обработке экспериментальных данных |

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

| Направления/цели воспитания | Задачи воспитания (код)  | Воспитательный потенциал дисциплин   |
|-----------------------------|--|--|
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18) | 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 использованием новых информационных технологий.  |
| Профессиональное воспитание | Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19) | <p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <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"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- 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.</li> </ul> |

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

| № п.п | Наименование раздела учебной дисциплины   | Недели | Лекции/ Практи. (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-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3 |
| 2     | Циклы энергетических установок. Обратимые и необратимые термодинамические процессы. | 9-15   | 16/8/8   |   | 25                            | КИ-15                               | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3 |
|       | <i>Итого за 5 Семестр</i>   |        | 32/16/16   |   | 50                            |                                     |  |
|       | <b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>   |        |  |   | 50                            | 3, КП                               | 3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |  | 3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3,<br>3-ПК-1,<br>У-ПК-1,<br>В-ПК-1,<br>3-ПК-2,<br>У-ПК-2,<br>В-ПК-2,<br>3-ПК-3,<br>У-ПК-3,<br>В-ПК-3 |
|--|--|--|--|--|--|--|--|

\* – 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               |
| КП          | Курсовой проект     |

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

| Недели | Темы занятий / Содержание  | Лек., час.             | Пр./сем., час. | Лаб., час. |
|--------|--|------------------------|----------------|------------|
|        | <i>5 Семестр</i>   | 32                     | 16             | 16         |
| 1-8    | <b>Основные понятия и исходные положения. Основные законы и уравнения термодинамики.</b> | 16                     | 8              | 8          |
| 1      | <b>Введение.</b>   | Всего аудиторных часов |                |            |

|       |   |                        |   |   |
|-------|---|------------------------|---|---|
|       | История развития термодинамики. Задачи термодинамики. Современные проблемы термодинамики  | 3                      | 2 | 2 |
|       |   | Онлайн                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 2     | <b>Основные понятия и исходные положения.</b><br>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. | Всего аудиторных часов |   |   |
|       |   | 3                      | 2 | 2 |
|       |   | Онлайн                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 3     | <b>Основные законы и уравнения термодинамики.</b><br>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                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 4 - 5 | <b>Методы термодинамики.</b><br>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                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 6     | <b>Равновесие термодинамических систем.</b><br>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                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 7 - 8 | <b>Фазовые переходы.</b><br>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                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 9-15  | <b>Циклы энергетических установок. Обратимые и необратимые термодинамические процессы.</b>  | 16                     | 8 | 8 |
| 9     | <b>Термодинамика потока.</b><br>Система уравнений одномерного течения газа. Критическая скорость истечения. Переход через скорость звука. Сопло Лавала. Потери на трение. Дросселирование. Адиабатическое расширение.   | Всего аудиторных часов |   |   |
|       |   | 3                      | 2 | 2 |
|       |   | Онлайн                 |   |   |
|       |   | 0                      | 0 | 0 |
| 10    | <b>Эффективность циклов теплосиловых установок.</b><br>Термодинамические циклы энергетических установок. Термический и эффективный к.п.д. Эксергия. Анализ  | Всего аудиторных часов |   |   |
|       |   | 3                      | 2 | 2 |
|       |   | Онлайн                 |   |   |



|         |   |                        |   |   |
|---------|---|------------------------|---|---|
|         | потерь работоспособности. Регенерация теплоты в цикле.  | 0                      | 0 | 0 |
| 11      | <b>Циклы энергетических установок.</b><br>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                 |   |   |
|         |   | 0                      | 0 | 0 |
| 12      | <b>Обратимые и необратимые термодинамические процессы.</b><br>Причины необратимости. Релаксация в термодинамической системе. Квазиравновесный процесс. Принцип локального термодинамического равновесия. Термодинамические флуктуации.  | Всего аудиторных часов |   |   |
|         |   | 3                      | 1 | 1 |
|         |   | Онлайн                 |   |   |
|         |   | 0                      | 0 | 0 |
| 13 - 14 | <b>Линейная неравновесная термодинамика.</b><br>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                 |   |   |
|         |   | 0                      | 0 | 0 |
| 15 - 16 | <b>Основы линейной неравновесной термодинамики.</b><br>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                 |   |   |
|         |   | 0                      | 0 | 0 |

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   |
|--------|---|
|        | <i>5 Семестр</i>  |
| 1 - 2  | <b>Работа 1. Исследование двухфазного состояния воды.</b><br>Работа 1. Исследование двухфазного состояния воды. |
| 3 - 4  | <b>Работа 1. Исследование двухфазного состояния воды.</b><br>Работа 1. Исследование двухфазного состояния воды. |
| 5 - 6  | <b>Работа 3. Исследование теплоемкости газов.</b>   |

|         |   |
|---------|---|
|         | Работа 3. Исследование теплоемкости газов.  |
| 7 - 8   | <b>Работа 4. Определение коэффициента адиабатической сжимаемости жидкости.</b><br>Работа 4. Определение коэффициента адиабатической сжимаемости жидкости. |
| 9 - 10  | <b>Работа 5. Термодинамика газового потока.</b><br>Работа 5. Термодинамика газового потока.   |
| 11 - 12 | <b>Работа 6. Неравновесные термоэлектрические эффекты.</b><br>Работа 6. Неравновесные термоэлектрические эффекты.   |
| 13 - 14 | <b>Работа 7. Производство энтропии при неравновесном теплообмене.*</b><br>Работа 7. Производство энтропии при неравновесном теплообмене.*                 |
| 15 - 16 | <b>Работа 8. Уравнение состояния.</b><br>Работа 8. Уравнение состояния.   |

### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

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

## ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

| Недели | Темы занятий / Содержание   |
|--------|---|
|        | <i>5 Семестр</i>  |
| 1      | <b>Введение.</b><br>История развития термодинамики. Задачи термодинамики. Современные проблемы термодинамики  |
| 2      | <b>Основные понятия и исходные положения.</b><br>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      | <b>Основные законы и уравнения термодинамики.</b><br>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  | <b>Методы термодинамики.</b><br>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      | <b>Равновесие термодинамических систем.</b><br>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  | <b>Фазовые переходы.</b><br>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      | <b>Термодинамика потока.</b><br>Система уравнений одномерного течения газа. Критическая скорость истечения. Переход через скорость звука. Сопло Лавалья. Потери на трение. Дросселирование. Адиабатическое расширение.  |

|         |   |
|---------|---|
| 10      | <b>Эффективность циклов теплосиловых установок.</b><br>Термодинамические циклы энергетических установок. Термический и эффективный к.п.д. Эксергия. Анализ потерь работоспособности. Регенерация теплоты в цикле.   |
| 11      | <b>Циклы энергетических установок.</b><br>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      | <b>Обратимые и необратимые термодинамические процессы.</b><br>Причины необратимости. Релаксация в термодинамической системе. Квазиравновесный процесс. Принцип локального термодинамического равновесия. Термодинамические флуктуации.  |
| 13 - 14 | <b>Линейная неравновесная термодинамика.</b><br>Линейные феноменологические законы. Термодинамические потоки и силы. Соотношения взаимности Онсагера. Стационарные процессы переноса. Диффузия, теплопроводность. Перекрестные явления переноса. Термоэлектрические явления и термодиффузия.                        |
| 15 - 16 | <b>Основы линейной неравновесной термодинамики.</b><br>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

Предусматривается 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-1        | З-ПК-1              | З, КП, КИ-8, КИ-15                |
|             | У-ПК-1              | З, КП, КИ-8, КИ-15                |

|      |        |                    |
|------|--------|--------------------|
|      | В-ПК-1 | 3, КП, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-2 | 3-ПК-2 | 3, КП, КИ-8, КИ-15 |
|      | У-ПК-2 | 3, КП, КИ-8, КИ-15 |
|      | В-ПК-2 | 3, КП, КИ-8, КИ-15 |
| ПК-3 | 3-ПК-3 | 3, КП, КИ-8, КИ-15 |
|      | У-ПК-3 | 3, КП, КИ-8, КИ-15 |
|      | В-ПК-3 | 3, КП, 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, 2022
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**

Методика преподавания дисциплины и реализация компетентного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся: лекции, практические занятия, реферат, устный опрос, контрольная работа.

Дополнительную информацию можно получить на кафедре, в библиотеке университета и из интернет-ресурсов.

В ходе лекционных занятий необходимо критически осмысливать предлагаемый материал, задавать вопросы как уточняющего характера, помогающие уяснить отдельные излагаемые положения, так и вопросы продуктивного типа, направленные на расширение и углубление сведений по изучаемой теме, на выявление недостаточно освещенных вопросов, слабых мест в аргументации и т.п. На практических занятиях необходимо активно участвовать в решении

предлагаемых проблем. Для успешного освоения дисциплины желательно выполнять индивидуальные задания, готовить доклады и рефераты. При подготовке к промежуточной аттестации необходимо повторить пройденный материал в соответствии с учебной программой. Рекомендуется использовать конспекты лекций и источники, перечисленные в списке

литературы в рабочей программе дисциплины, а также ресурсы электронно-библиотечных систем. Необходимо обратить особое внимание на темы учебных занятий, пропущенных по разным причинам. При необходимости можно обратиться за консультацией и методической помощью к преподавателю.

## **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 и семинарских занятий. 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.

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.