

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

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Атомные электростанции и установки

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ТУРБОМАШИНЫ АЭС


| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.06 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 6 семестр - 3; 7 семестр - 2; всего - 5 |
| Часов (всего) по учебному плану: | 180 часов |
| Лекции | 6 семестр - 28 часа; 7 семестр - 16 часов; всего - 44 часа |
| Практические занятия | 6 семестр - 28 часа; 7 семестр - 16 часов; всего - 44 часа |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| Самостоятельная работа | 6 семестр - 51,7 часа; 7 семестр - 39,7 часа; всего - 91,4 часа |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Коллоквиум Расчетно-графическая работа Контрольная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Зачет с оценкой | 6 семестр - 0,3 часа; |
| Зачет с оценкой | 7 семестр - 0,3 часа; |
| | всего - 0,6 часа |

Москва 2022

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Медников А.Ф. |
| | Идентификатор | R8a8b30e8-MednikovAIF-ede4255 |

(подпись)


А.Ф. Медников

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|---|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Аникеев А.В. |
| | Идентификатор | R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65 |


(подпись)

А.В. Аникеев

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|---|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Аникеев А.В. |
| | Идентификатор | R64fa5fd7-AnikeevAV-ee466b65 |

(подпись)

А.В. Аникеев

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение конструкции, принципов и особенностей работы паровых турбин и насосов АЭС, методов расчет элементов проточной части паровых турбин АЭС для последующего использования в их конструировании и эксплуатации

Задачи дисциплины

- изучение основных типов паровых турбин и нагнетательных турбомашин;
- изучение физических процессов в паровых турбинах и нагнетательных турбомашин;
- формирование навыков в выполнении тепловых и гидравлических расчетов паровых турбин и нагнетательных турбомашин АЭС;
- приобретение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при последующем конструировании проточной части паровых турбин АЭС.

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 |
|---|--|---|
| ПК-3 Способен к участию в эксплуатации и проектировании основного оборудования атомных электростанций и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы | ИД-2 _{ПК-3} Владеет навыками принятия и обоснования конкретных технических решений при конструировании оборудования АЭС | знать: - конструкцию турбинной ступени, принцип действия, процесс расширения перегретого и влажного пара в ступени в h,s - диаграмме, кинематику потока в ступени; - особенности и принцип работы нагнетательных турбомашин на АЭС, их характеристики, параметры и обозначения; - конструктивные особенности насосов и способы регулирования их производительности. |
| ПК-3 Способен к участию в эксплуатации и проектировании основного оборудования атомных электростанций и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы | ИД-4 _{ПК-3} Демонстрирует понимание процессов, происходящих в оборудовании АЭС и их влияния на конструктивные особенности | знать: - особенности работы турбин АЭС, классификацию турбомашин по различным признакам, показатели экономичности турбоустановки и энергоблока. уметь: - определять параметры и аэродинамические характеристики потока перегретого и влажного пара в турбинной ступени, основные и дополнительные потери в турбинной ступени, относительный лопаточный и внутренний КПД ступени; - рассчитывать гидравлические потери в сети, определять теоретические характеристики насоса, кинематику потока жидкости в рабочем колесе насоса. |
| ПК-4 Способен проводить | ИД-1 _{ПК-4} Демонстрирует | уметь: |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|---|--|---|
| расчеты характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах АЭС и других энергетических установок | умение использования стандартных методик расчетов характеристик процессов протекающих в оборудовании АЭС | <ul style="list-style-type: none"> - оценивать показатели экономичности турбин и турбоустановок АЭС; - применять теорию подобия в расчетах и проектировании насосов, пересчитывать характеристики насосов и определять параметры совместной работы нескольких машин на общую сеть; - рассчитывать турбинные ступени, работающие на перегретом и влажном паре, число ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням в цилиндре многоступенчатой турбины. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Атомные электростанции и установки (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 5 зачетных единиц, 180 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 | Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток | 24 | 6 | 10 | - | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 1.1-1.5 [2], п. 1.1 [5], п. 1.1-1.5</p> | |
| 1.1 | Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток | 24 | | 10 | - | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | | |
| 2 | Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на перегретом паре. | 34 | | 8 | - | 16 | - | - | - | - | - | 10 | - | | <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на перегретом паре." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени,</p> |
| 2.1 | Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, | 34 | | 8 | - | 16 | - | - | - | - | - | 10 | - | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|------|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|------|--|
| | работающей на перегретом паре | | | | | | | | | | | | работающей на перегретом паре." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 1.6-1.10 [2], п. 1.1 [3], п. 1.1-1.2, п. 3.1-3.3 [5], п. 1.6-1.10 |
| 3 | Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины | 17 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 7 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях |
| 3.1 | Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины | 17 | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | 7 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 2.1-2.4 [5], п. 2.1-2.4 |
| 4 | Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС | 15 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 7 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> |
| 4.1 | Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС | 15 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 7 | - | Изучение материала по разделу "Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п. 4.1-4.2 [5], п. 4.1-4.2 |
| | Зачет с оценкой | 18.0 | - | - | - | - | - | - | - | 0.3 | - | 17.7 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|---|----|---|----|---|---|---|---|-----|----|------|---|
| | Всего за семестр | 108.0 | | 28 | - | 28 | - | - | - | - | 0.3 | 34 | 17.7 | |
| | Итого за семестр | 108.0 | | 28 | - | 28 | - | - | - | - | 0.3 | 34 | 17.7 | |
| 5 | Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса | 14 | 7 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], п. 1.1-1.3 [6], п. 1.2-1.5 |
| 5.1 | Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса | 14 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 6 | Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов | 14 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], п. 1.4, п. 1.5, п. 2.1-2.3 [6], п. 2.1-2.4 |
| 6.1 | Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов | 14 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | |
| 7 | Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации | 13 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации." подготовка к выполнению заданий на практических |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|--------------|---|-----------|---|-----------|---|---|---|---|------------|----|-------------|--|
| 7.1 | Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации | 13 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | занятиях <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], п. 2.1-2.2 [6], п. 3.3-3.6 |
| 8 | Многоступенчатое повышение давления в насосах | 13 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Многоступенчатое повышение давления в насосах." |
| 8.1 | Многоступенчатое повышение давления в насосах | 13 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 5 | - | <u>Проведение исследований:</u> Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Многоступенчатое повышение давления в насосах." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], п. 2.3-2.4 [6], п. 3.4 |
| | Зачет с оценкой | 18.0 | | - | - | - | - | - | - | - | 0.3 | - | 17.7 | |
| | Всего за семестр | 72.0 | | 16 | - | 16 | - | - | - | - | 0.3 | 22 | 17.7 | |
| | Итого за семестр | 72.0 | | 16 | - | 16 | - | - | - | - | 0.3 | | 39.7 | |
| | ИТОГО | 180.0 | - | 44 | - | 44 | - | - | - | - | 0.6 | | 91.4 | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КНР – 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. Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток

1.1. Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок.
Классификация и характеристики турбинных решеток

Основные понятия и определения. Классификация турбомашин по различным признакам. Общие характеристики турбомашин: турбин, насосов, вентиляторов, компрессоров и их особенности по сравнению с другими типами машин. Области применения. Обозначения турбомашин ТЭС и АЭС. Циклы турбинных установок, используемых на ТЭС и АЭС. Особенности турбоустановок АЭС. Внешняя сепарация и промежуточный перегрев. Коэффициенты полезного действия турбины и турбоустановки. Классификация и характеристики турбинных решеток турбомашин. Сопловые и рабочие решетки. Геометрические характеристики и режимные параметры, аэродинамические характеристики. Общее уравнение Эйлера для турбомашин («турбинное уравнение Эйлера») и его анализ.

2. Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на перегретом паре.

2.1. Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на перегретом паре

Турбинная ступень. Конструкция, принцип действия, процесс в h,s - диаграмме. Преобразование энергии в турбинной ступени. Кинематика потока ступени. Степень реактивности ступени. Треугольники скоростей. Выбор типа профилей решеток и методы определения их аэродинамических характеристик на перегретом и влажном паре. Учет особенностей сверхзвукового потока. Основные потери в турбинной ступени: потери в сопловых и рабочих решетках, потери с выходной скоростью. Относительный лопаточный КПД ступени $\eta_{ол}$. Зависимость КПД $\eta_{ол}$ от отношения скоростей $u/cф$. Оптимальная величина параметра $u/cф$. Относительный внутренний КПД ступени η_{oi} . Дополнительные потери в ступени: потери от трения диска о пар, потери от парциальности, потери от утечек в диафрагменных и надбандажных уплотнениях. Зависимость КПД η_{oi} от отношения скоростей $u/cф$. Методика расчета и проектирования турбинной ступени, работающей на перегретом паре. Усилия, действующие на рабочую лопатку и мощность ступени. Расчет рабочих лопаток на прочность. Способы повышения прочности рабочих лопаток. Вибрационная надежность рабочих лопаток.

3. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины

3.1. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре.
Многоступенчатые турбины

Образование влаги в элементах турбины. Особенности течения двухфазных потоков с каплями влаги. Потери энергии при образовании влаги и при течении двухфазного потока. Расчет характеристик турбинных решеток. Влияние влажности на характеристики турбинных решеток. Методика расчета и проектирования турбинной ступени, работающей на влажном паре. Влияние влажности на треугольники скоростей. Процесс в h,s - диаграмме для ступени, работающей на влажном паре. Расчет относительного лопаточного КПД ступени $\eta_{ол}$ с учетом влажности. Выбор характеристик и методика расчета и проектирования турбинной ступени на влажном паре. Пример расчета ступеней влажнопаровых турбин. Необходимость применения многоступенчатых турбин, преимущества и недостатки. Выбор основных параметров. Рабочий процесс в

многоступенчатой турбине. Современные и перспективные конструкции турбомашин АЭС. Быстроходные и тихоходные турбины АЭС и особенности их конструкций. Типы роторов. Виды облопачивания. Конструкция статора турбины. Уплотнения: диафрагменные, надбандажные, концевые. Конструкция опорных и упорных подшипников. Предельная мощность одноступенчатой турбины. Способы повышения единичной мощности. Выбор частоты вращения и числа цилиндров влажнопаровых турбин АЭС. Влияние влажности на характеристики группы ступеней. Удаление влаги из проточной части турбины. Способы сепарации влаги. Методы расчета сепарации влаги. Оценка коэффициентов полезного действия для цилиндра высокого давления и цилиндра низкого давления турбины АЭС. Определение числа ступеней, размеров ступеней и распределение теплоперепадов между ними. Концевые уплотнения турбины в одноконтурных и двухконтурных АЭС. Осевые усилия и способы их уравнивания. Способы изменения мощности турбин. Системы парораспределения и их выбор.

4. Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС

4.1. Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС

Пределы применимости одномерной теории турбомашин. Результаты анализа способов осреднения и их влияние на интегральные величины. Допустимые отклонения расчетных схем от реального течения. Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Выигрыш экономичности при учете пространственности потока в ступени. Трехмерная задача и современные возможности ее решения для ступени турбины. Уравнения радиального равновесия и способы «закрутки» лопаток. Методы снижения неравномерности потока по радиусу ступени. Результаты технико-экономической оценки целесообразности применения ступеней с переменным по высоте профилем лопатки. Этапы расчета ступеней большой веерности. Примеры конструктивного выполнения ступеней. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС. Методы предупреждения эрозии и коррозии. Расчет периферийной сепарации. Количественная оценка эрозии и значения предельной влажности. Активные и пассивные методы защиты от эрозии. Коррозия в турбинах АЭС, ее основные виды и механизмы. Активные и пассивные методы защиты от коррозии.

5. Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса

5.1. Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса

Применение нагнетательных турбомашин на АЭС, их характеристики, параметры и обозначения. Насосное оборудование АЭС специального назначения и общепромышленного исполнения. Характеристики насоса: подача, напор, давление, удельная энергия, скорость вращения, мощность, коэффициент полезного действия. Устройство и принцип действия одноступенчатого центробежного насоса. Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Теоретические характеристики насоса. Степень реактивности. Влияние формы лопаток рабочего колеса на характеристики центробежных машин. Действительные характеристики насоса, потери энергии в насосах. Коэффициент быстроходности и зависимость от его величины характеристик и конструктивных особенностей насосов.

6. Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов

6.1. Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов

Применение теории подобия и размерности в расчетах и проектировании насосов. Пересчет характеристик насосов при изменении скорости вращения и размеров колеса насоса. Совместная работа нескольких машин на общую сеть. Последовательное и параллельное включение насосов.

7. Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации

7.1. Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации

Способы регулирования производительности насосов: дросселированием, перепуском, изменением скорости вращения рабочего колеса. Явление кавитации, допустимая высота всасывания и кавитационный запас.

8. Многоступенчатое повышение давления в насосах

8.1. Многоступенчатое повышение давления в насосах

Многоступенчатое повышение давления в насосах. Конструктивные особенности насосов АЭС различного назначения. Конструкция, принцип действия и распределение параметров вдоль проточной части. Особенности методов расчета. Осевые усилия и способы их уравнивания. Схемы включения, особенности условий работы и конструкций насосов АЭС: главных циркуляционных (ГЦН), питательных, конденсатных, циркуляционных и других.

3.3. Темы практических занятий

1. Показатели экономичности турбин и турбоустановок АЭС. Приближенная оценка характеристик: КПД, расходов, мощностей, разделительного давления. Сравнение вариантов (4 часа);
2. Подбор насосов (вентиляторов) по каталогу с использованием коэффициента быстроходности (4 часа);
3. Определение размеров проточной части центробежного насоса по методу подобия на требуемые условия (2 часа);
4. Пересчет характеристик насоса по методу подобия на требуемые условия (2 часа);
5. Кинематика потока жидкости в рабочем колесе насоса. Треугольники скоростей (2 часа);
6. Определение теоретических характеристик насоса (2 часа);
7. Расчет гидравлических потерь в сети;
8. Работа насоса в сети. Способы регулирования производительности насосов (2 часа);
9. Расчет числа ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням в цилиндре многоступенчатой турбины (4 часа);
10. Расчет на прочность рабочих лопаток (2 часа);
11. Расчет турбинной ступени, работающей на перегретом паре (4 часа);
12. Определение дополнительных потерь в турбинной ступени и КПД (4 часа);
13. Определение основных потерь в турбинной ступени и КПД (2 часа);
14. Определение аэродинамических характеристик на перегретом и влажном паре (2 часа);
15. Процесс расширения пара в турбинной ступени. Расчет треугольников скоростей и выбор профилей сопловой и рабочей решеток (2 часа);
16. Расчет турбинной ступени, работающей на влажном паре (4 часа);
17. Совместная работа нескольких насосов на общую сеть. Определение характеристик группы машин при последовательном и параллельном соединении (2 часа).

3.4. Темы лабораторных работ
не предусмотрено

3.5 Консультации

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 | | |
| Знать: | | | | | | | | | | | |
| особенности и принцип работы нагнетательных турбомашин на АЭС, их характеристики, параметры и обозначения | ИД-2ПК-3 | | | | | + | | | | + | Коллоквиум/«Конструкция и работа насосов в сети» Коллоквиум/«Нагнетательные турбомашины АЭС» |
| конструктивные особенности насосов и способы регулирования их производительности | ИД-2ПК-3 | | | | | + | + | + | | | Коллоквиум/«Конструкция и работа насосов в сети» |
| конструкцию турбинной ступени, принцип действия, процесс расширения перегретого и влажного пара в ступени в h,s- диаграмме, кинематику потока в ступени | ИД-2ПК-3 | + | | | + | | | | | | Коллоквиум/«Турбинная ступень» |
| особенности работы турбин АЭС, классификацию турбомашин по различным признакам, показатели экономичности турбоустановки и энергоблока | ИД-4ПК-3 | + | | | | | | | | | Коллоквиум/«Турбинная ступень» Коллоквиум/«Турбины АЭС» |
| Уметь: | | | | | | | | | | | |
| рассчитывать гидравлические потери в сети, определять теоретические характеристики насоса, кинематику потока жидкости в рабочем колесе насоса | ИД-4ПК-3 | | | | | + | | | | | Контрольная работа/«Характеристики насосов» |
| определять параметры и аэродинамические характеристики потока перегретого и влажного пара в турбинной ступени, основные и дополнительные потери в турбинной ступени, относительный лопаточный и внутренний КПД ступени | ИД-4ПК-3 | | + | + | | | | | | | Контрольная работа/"Определение показателей экономичности турбин АЭС. Расчет параметров ступени" |
| применять теорию подобия в расчетах и проектировании насосов, пересчитывать характеристики насосов и определять параметры | ИД-1ПК-4 | | | | | | + | | | | Контрольная работа/«Совместная работа насосов» |

| | | | | | | | | | | |
|--|----------|---|--|---|---|--|--|--|--|--|
| совместной работы нескольких машин на общую сеть | | | | | | | | | | |
| рассчитывать турбинные ступени, работающие на перегретом и влажном паре, число ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням в цилиндре многоступенчатой турбины | ИД-1ПК-4 | + | | + | + | | | | | Расчетно-графическая работа/«Расчет ступени парой турбины АЭС, работающей на влажном паре» |
| оценивать показатели экономичности турбин и турбоустановок АЭС | ИД-1ПК-4 | + | | | | | | | | Контрольная работа/"Определение показателей экономичности турбин АЭС. Расчет параметров ступени" |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. "Определение показателей экономичности турбин АЭС. Расчет параметров ступени" (Контрольная работа)
2. «Расчет ступени парой турбины АЭС, работающей на влажном паре» (Расчетно-графическая работа)
3. «Турбинная ступень» (Коллоквиум)
4. «Турбины АЭС» (Коллоквиум)

7 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. «Конструкция и работа насосов в сети» (Коллоквиум)
2. «Нагнетательные турбомашин АЭС» (Коллоквиум)
3. «Совместная работа насосов» (Контрольная работа)
4. «Характеристики насосов» (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №6)

Оценка за курс определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» и выставляется на основании оценки за зачет и на основании семестровой составляющей. В приложение к диплому оценкой за курс выносятся оценка, полученная в 1 семестре (часть курса №1).

Зачет с оценкой (Семестр №7)

Оценка за курс определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» и выставляется на основании оценки за зачет и на основании семестровой составляющей. В приложение к диплому оценкой за курс выносятся оценка, полученная в 1 семестре (часть курса №1).

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Паровые и газовые турбины для электростанций : учебник для вузов по специальности "Тепловые электрические станции" направления "Теплоэнергетика" / Ред. А. Г. Костюк . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008 . – 556 с. - ISBN 978-5-383-00268-1 .

[http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4175;](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4175)

2. Трухний, А. Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки : учебное пособие для вузов по направлению "Энергомашиностроение"; специальностям "Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели", "Котло-и реакторостроение" направления "Энергомашиностроение"; специальностям "Тепловые электрические станции", "Промышленная теплоэнергетика" направления "Теплоэнергетика" / А. Д. Трухний, Б. В. Ломакин . – 2-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 540 с. - ISBN 5-903072-53-4 .;
3. Трухний, А. Д. Тихоходные паровые турбины атомных электрических станций : учебное пособие для вузов по специальности "Атомные электростанции и установки" направления "Техническая физика" и специальности "Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели" направления "Энергомашиностроение" / А. Д. Трухний, А. Е. Булкин . – М. : Издательский дом МЭИ, 2011 . – 364 с. - ISBN 978-5-383-00524-8 .
http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=4222;
4. Пак, П. Н. Насосное оборудование атомных станций / П. Н. Пак, А. Я. Белоусов, С. П. Пак . – М. : Энергоатомиздат, 2003 . – 450 с. - ISBN 5-283-01275-1 .;
5. Костюк А.Г. , Фролов В. В., Булкин А.Е. , Трухний А.Д. - "Паровые и газовые турбины для электростанций", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (557 с.)
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72260;
6. Моргунов К. П.- "Насосы и насосные станции", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (308 с.)
<https://e.lanbook.com/book/152484>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. SmathStudio;
6. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей).

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elibr.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, | Оснащение |
|---------------|------------------|-----------|
|---------------|------------------|-----------|

| | наименование | |
|---|--|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | А-300, Учебная аудитория "А" | кресло рабочее, парта, стеллаж, стол преподавателя, стол учебный, стул, трибуна, микрофон, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, колонки, техническая аппаратура, кондиционер, телевизор |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | А-404, Учебная аудитория "А" | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | А-404, Учебная аудитория "А" | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран |
| 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 |
| Помещения для консультирования | А-404, Учебная аудитория "А" | парта, стол преподавателя, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | П-05/1, Помещение для учебного инвентаря | |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Турбомашины АЭС

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 «Турбины АЭС» (Коллоквиум)

КМ-2 «Турбинная ступень» (Коллоквиум)

КМ-3 «Расчет ступени парой турбины АЭС, работающей на влажном паре» (Расчетно-графическая работа)

КМ-4 "Определение показателей экономичности турбин АЭС. Расчет параметров ступени" (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 1 | Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток | | | | | |
| 1.1 | Классификация турбомашин по различным признакам. Циклы турбинных установок. Классификация и характеристики турбинных решеток | | + | + | + | + |
| 2 | Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на перегретом паре. | | | | | |
| 2.1 | Турбинная ступень. Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на перегретом паре | | | | | + |
| 3 | Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины | | | | | |
| 3.1 | Расчет и проектирование турбинной ступени, работающей на влажном паре. Многоступенчатые турбины | | | | + | + |
| 4 | Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС | | | | | |
| 4.1 | Расчет ступени с учетом изменения параметров потока по радиусу. Эрозия и коррозия в турбинах АЭС | | | + | + | |
| Вес КМ, %: | | | 10 | 15 | 50 | 25 |

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-5 «Нагнетательные турбомашины АЭС» (Коллоквиум)

КМ-6 «Конструкция и работа насосов в сети» (Коллоквиум)

КМ-7 «Характеристики насосов» (Контрольная работа)

КМ-8 «Совместная работа насосов» (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-5 | КМ-6 | КМ-7 | КМ-8 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 3 | 6 | 9 | 12 |
| 1 | Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса | | | | | |
| 1.1 | Применение нагнетательных турбомашин на АЭС Кинематика потока в центробежной нагнетательной турбомашине. Характеристики насоса | | + | + | + | |
| 2 | Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов | | | | | |
| 2.1 | Применение теории подобия в расчетах и проектировании насосов | | | + | | + |
| 3 | Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации | | | | | |
| 3.1 | Способы регулирования производительности насосов. Явление кавитации | | | + | | |
| 4 | Многоступенчатое повышение давления в насосах | | | | | |
| 4.1 | Многоступенчатое повышение давления в насосах | | + | + | | |
| Вес КМ, %: | | | 20 | 20 | 30 | 30 |