

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
ПАРОГЕНЕРАТОРЫ АЭС

| | |
|--|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.08 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 7 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 7 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 7 семестр - 32 часа; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 7 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 7 семестр - 77,5 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: | |
| Контрольная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 7 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2025

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

| | | |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Мелихов В.И. |
| | Идентификатор | Rf4bcbd4b-MelikhovVI-7cf385d8 |

В.И. Мелихов


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

| | | |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Мелихов В.И. |
| | Идентификатор | Rf4bcbd4b-MelikhovVI-7cf385d8 |

В.И. Мелихов

Заведующий выпускающей
кафедрой

| | | |
|---|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Хвостова М.С. |
| | Идентификатор | R5ead212f-KhvostovaMS-a4cf11ca |

М.С. Хвостова

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение конструкций парогенераторов, теплофизических и физико-химических процессов, происходящих в парогенераторе и их влияния на конструктивные особенности..

Задачи дисциплины

- Изучение теплогидравлических и физико-химических процессов в объеме парогенерирующих устройств;
- Получение навыков по выбору конструкционных параметров парогенераторов на основе протекающих теплофизических процессов;
- Получение навыков принятия и обоснования конкретных технических решений при проектировании парогенераторов АЭС;
- Получение навыков по проектированию и тепловому расчету ПГ.

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-2 Способен проводить расчеты характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах АЭС и других энергетических установок | ИД-1ПК-2 Демонстрирует умение использования стандартных методик расчетов характеристик процессов протекающих в оборудовании АЭС | уметь: - Проводить расчеты материального баланса примесей рабочей среды; - Рассчитывать теплогидравлические характеристики ПГ; - Проводить расчеты баланса тепла ПГ; - Проводить расчет стоимости ПГ и определение оптимальной скорости теплоносителя. |
| 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-2ПК-3 Владеет навыками принятия и обоснования конкретных технических решений при конструировании оборудования АЭС | знать: - Основные характеристики ПГ АЭС. |
| 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-4ПК-3 Демонстрирует понимание процессов, происходящих в оборудовании АЭС и их влияния на конструктивные особенности | знать: - Влияние процессов, протекающих в ПГ на надежность и экономичность основного оборудования АЭС; - Принципы выбора конструктивной схемы; - Методы получения чистого пара; - Конструкционные материалы и расчет деталей парогенератора на прочность. |

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.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные принципы теплообмена
- знать методики расчета процессов теплопроводности в элементах конструкций, теплообмена при свободной и вынужденной конвекции, двухфазного теплообмена, радиационного теплообмена
- уметь самостоятельно анализировать процессы теплообмена, термодинамические процессы и циклы

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

| № 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 | Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора. | 8 | 7 | 4 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | - | <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора." <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики</p> |
| 1.1 | Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора. | 8 | | 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 4 | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | | | | | | | | | | | | парогенератора." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [8], стр. 4-18 |
| 2 | Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам. | 16 | 4 | - | 6 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 128-140 [8], стр. 26-95 |
| 2.1 | Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам. | 16 | 4 | - | 6 | - | - | - | - | - | 6 | - | Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 128-140 [8], стр. 26-95 |
| 3 | Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей. | 16 | 4 | - | 6 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей." |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.1 | Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей. | 16 | | 4 | - | 6 | - | - | - | - | - | 6 | - | <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей."</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [8], стр. 19-25</p> |
| 4 | Процессы, протекающие при производстве пара. | 12 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4 | - | <p><u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Процессы, протекающие при производстве пара." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Процессы, протекающие при производстве</p> |
| 4.1 | Процессы, протекающие при производстве пара. | 12 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4 | - | <p>Процессы, протекающие при производстве пара." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Процессы, протекающие при производстве</p> |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | | | | | | | | | | | | | пара." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Процессы, протекающие при производстве пара." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Процессы, протекающие при производстве пара." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], стр. 8-130 [8], стр. 102-118 |
| 5 | Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена." <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. | |
| 5.1 | Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|
| | | | | | | | | | | | | | | дополнительного материала по разделу "Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [6], стр. 334-365 |
| 6 | Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов." <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов." <u>Изучение материалов литературных</u> | |
| 6.1 | Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | | | | | | | | | | | | <u>источников:</u> [3], стр. 315-399 [8], стр. 97-102 |
| 7 | Расчет и проектирование парогенератора. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Расчет и проектирование парогенератора." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. |
| 7.1 | Расчет и проектирование парогенератора. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Расчет и проектирование парогенератора." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Расчет и проектирование парогенератора." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Расчет и проектирование парогенератора." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 3-15 [4], стр. 1-224 [7], стр. 99-103 |
| 8 | Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов. | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов." |
| 8.1 | Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и | 14 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Подготовка домашнего задания:</u> Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|----|------|--|
| | эксплуатации парогенераторов. | | | | | | | | | | | | профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов." <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [8], стр. 317-323 |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | 32 | - | 32 | - | 2 | - | - | 0.5 | 44 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | 32 | - | 32 | | 2 | | - | 0.5 | | 77.5 | |

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

3.2 Краткое содержание разделов

1. Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора.

1.1. Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора.

Понятие парогенератора. Место парогенератора в схеме АЭС. Основные характеристики ПГ. Классификация ПГ..

2. Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам.

2.1. Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам.

Конструктивные особенности ПГ АЭС в зависимости от типа РУ. Реакторные установки кипящего типа. Водно-водяные реакторы некипящего типа. Особенности конструктивных схем ПГ с водой под давлением. Особенности конструктивных схем ПГ обогреваемых жидкими металлами. Основные требования к ПГ..

3. Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей.

3.1. Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей.

Способы передачи тепла. Виды теплоносителей: высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные. Группы свойств, учитываемые при выборе теплоносителя: нейтронно-физические, теплофизические, физико-химические, технико-экономические. Вода и тяжелая вода как теплоноситель. Органические теплоносители. Газовые и жидкометаллические теплоносители. Особенности конструктивных схем..

4. Процессы, протекающие при производстве пара.

4.1. Процессы, протекающие при производстве пара.

Особенности теплообмена при кипении в ПГ. Конвективный теплообмен. Компоновка теплопередающей поверхности. Теплообмен при кипении. Режимы течения (структура течения) при нагревании жидкости в канале. Значения коэффициента теплоотдачи при различных режимах. Сепарация пара в ПГ. Механизм выноса влаги. Способы выравнивания паровой нагрузки..

5. Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена.

5.1. Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена.

Уравнение движения двухфазного потока в трубах. Расходные параметры двухфазного потока. Истинные характеристики двухфазного потока. Истинное объемное паросодержание. Расчет по различным моделям. Графическая интерпретация. Подъемное, опускное и противоточное движение фаз применительно к ПГ АЭС..

6. Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов.

6.1. Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов.

Основные проблемы физико-химических процессов в ПГ АЭС. Классификация примесей. Постоянная и периодическая продувка. Оптимизация продувки. Баланс примесей в ПГ АЭС по 2 контуру. Концепция ступенчатого испарения. Водный режим многоступенчатой схемы

испарения. Макрораспределение примесей по кипящему объему в ПГ. Микрораспределение примесей вблизи теплопередающей стенки. Распределение примесей в переходных процессах. Поведение шлама в объеме ПГ..

7. Расчет и проектирование парогенератора.

7.1. Расчет и проектирование парогенератора.

Тепловой расчет: определение тепловой мощности и расхода теплоносителя, определение площади теплопередающей поверхности, расчет коэффициента теплоотдачи от теплоносителя к стенке труб, расчет коэффициента теплоотдачи от стенки труб поверхности теплообмена к рабочему телу на входе, расчет коэффициента теплоотдачи от стенки труб поверхности теплообмена к рабочему телу на выходе. Конструкционный расчет ПГ: длина и масса труб теплопередающей поверхности, расчет коллекторов теплоносителя, геометрические размеры и масса коллекторов, расчет корпуса, расчет массы корпуса и массы ПГ. Расчет сепарационных устройств: расчет погружного дырчатого листа, расчет гравитационной сепарации. Гидравлический расчет ПГ: гидравлическое сопротивление по тракту теплоносителя, гидравлическое сопротивление по тракту рабочего тела, доля мощности главного циркуляционного насоса и питательных насосов..

8. Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов.

8.1. Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов.

Естественная и принудительная циркуляция в ПГ АЭС. Достоинства и недостатки. Организованный и неорганизованный контура циркуляции. Основные требования к ПГ при проектировании, монтаже, эксплуатации и ремонте..

3.3. Темы практических занятий

1. Определение площади теплопередающей поверхности.;
2. Расчет распределения примесей в объеме парогенератора без-, и со ступенчатым испарением.;
3. Естественная циркуляция в парогенераторе. Расчет (оценка) скоростей циркуляции и паросодержания в организованном и неорганизованном контурах циркуляции.;
4. Определение величин перепадов давления при движении одно-, и двухфазных потоков. Гомогенное приближение. Истинные параметры.;
5. Расчет истинных характеристик двухфазного потока при подъемном, опускном и противоточном движении фаз.;
6. Расчет параметров прямого парогенерирующего канала. Определение длин участков: входного, испарительного, пароперегревательного.;
7. T-Q – диаграмма. Температурные напоры. Среднеарифметический температурный напор. Расчет коэффициента теплопередачи.;
8. Расчет макро-, и микрораспределения примесей по объему парогенератора и вблизи теплопередающей стенки. Оценка кратности концентрирования.;
9. Конструктивные особенности парогенератора в зависимости от типа реактора. Выбор числа петель, тепловая мощность.;
10. Влияние параметров парогенератора на его паропроизводительность (изменение давления, образование оксидных пленок, рост отложений).;
11. Расчет расходных и истинных характеристик двухфазного потока. Коэффициент скольжения, относительная скорость пара.;
12. Работа с чертежами различных типов парогенераторов.;

13. Расчет коэффициентов теплоотдачи при конвективном теплообмене и при кипении. Выбор расчетных выражений.;
14. Сепарация пара в паровом объеме парогенератора. Расчет скорости витания капли, спектр капель, скорость осаждения. Определение необходимости установки жалюзийного сепаратора.;
15. Составление материальных и тепловых балансов по I-му и II-му контурам парогенератора.;
16. Поиск оптимального выбора точек продувки и их координат..

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора."
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам."
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей."
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Процессы, протекающие при производстве пара."
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена."
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов."
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Расчет и проектирование парогенератора."
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов."

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: | | | | | | | | | | | |
| Основные характеристики ПГ АЭС | ИД-2 _{ПК-3} | + | | | | | | | | | Контрольная работа/Основные характеристики парогенератора. t,Q-диаграмма парогенератора. |
| Конструкционные материалы и расчет деталей парогенератора на прочность | ИД-4 _{ПК-3} | | | + | | | | | | | Контрольная работа/Тепловой расчет парогенератора. Основные конструкции ПГ. |
| Методы получения чистого пара | ИД-4 _{ПК-3} | | | | + | | | | | | Контрольная работа/Расчет характеристик двухфазного потока. Тепловой расчет парогенератора. |
| Принципы выбора конструктивной схемы | ИД-4 _{ПК-3} | | + | | | | | | | | Контрольная работа/Микро- и макрораспределение примесей в парогенераторе. Конструктивные особенности различных типов парогенераторов. |
| Влияние процессов, протекающих в ПГ на надежность и экономичность основного оборудования АЭС | ИД-4 _{ПК-3} | | | | | | | | + | | Контрольная работа/Микро- и макрораспределение примесей в парогенераторе. Конструктивные особенности различных типов парогенераторов. |
| Уметь: | | | | | | | | | | | |
| Проводить расчеты баланса тепла ПГ | ИД-1 _{ПК-2} | | | | | | | | + | | Контрольная работа/Расчет характеристик двухфазного потока. Тепловой расчет парогенератора. Контрольная работа/Тепловой расчет парогенератора. Основные конструкции ПГ. |
| Рассчитывать теплогидравлические характеристики ПГ | ИД-1 _{ПК-2} | | | | | + | | | | | Контрольная работа/Основные характеристики парогенератора. t,Q-диаграмма парогенератора. Контрольная работа/Расчет характеристик двухфазного потока. Тепловой расчет парогенератора. |

| | | | | | | | | | | |
|--|----------|---|--|--|--|--|---|--|--|---|
| Проводить расчеты материального баланса примесей рабочей среды | ИД-1ПК-2 | | | | | | + | | | Контрольная работа/Микро- и макрораспределение примесей в парогенераторе. Конструктивные особенности различных типов парогенераторов. |
| Проводить расчет стоимости ПГ и определение оптимальной скорости теплоносителя | ИД-1ПК-2 | + | | | | | | | | Контрольная работа/Тепловой расчет парогенератора. Основные конструкции ПГ. |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Микро- и макрораспределение примесей в парогенераторе. Конструктивные особенности различных типов парогенераторов. (Контрольная работа)
2. Основные характеристики парогенератора. t, Q -диаграмма парогенератора. (Контрольная работа)
3. Расчет характеристик двухфазного потока. Тепловой расчет парогенератора. (Контрольная работа)
4. Тепловой расчет парогенератора. Основные конструкции ПГ. (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №7)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ»

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Быстрицкий, Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии) : учебник для вузов по направлениям "Электротехника, электромеханика и электротехнологии", "Электроэнергетика" / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков . – 2-е изд., стер . – М. : КноРус, 2015 . – 408 с. – (Бакалавриат) . - ISBN 978-5-406-04328-8 .;
2. Парогенераторы АЭС : методические указания для курсового проектирования по курсу "Парогенераторы АЭС" по направлению "Атомные электрические станции и установки" / В. И. Горбунов, В. П. Дик, С. В. Иванов, Р. П. Ануркин, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 15 с.
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=6979>;
3. Теплоэнергетика и теплотехника : справочник : в 4 кн. / Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 4-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2007 . - ISBN 978-5-383-00015-1 .
Кн.3 : Тепловые и атомные электростанции / М. С. Алхутов, и др. ; Общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорин . – 2007 . – 648 с. - ISBN 978-5-383-00018-2 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=4275>;
4. Александров, А. А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики : справочник / А. А. Александров, К. А. Орлов, В. Ф. Очков . – М. : Издательский дом МЭИ, 2009 . – 224 с. - ISBN 978-5-383-00405-0 .;
5. Иванов, С. В. Совершенствование регламента проведения продувки в режимах останова блока с РБМК на основе динамики распределения примесей: 05.14.03 - Ядерные

энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации : диссертация кандидата технических наук / С. В. Иванов, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М., 2010 . – 155 с.

<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=865>;

6. Лабунцов Д.А. , Ягов В.В. - "Механика двухфазных систем", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (384 с.)

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72240;

7. С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский- "Справочник по теплопередаче", Издательство: "Госэнергоиздат", Москва, Ленинград, 1958 - (413 с.)

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=257440>;

8. Рассохин, Н. Г. Парогенераторные установки атомных электростанций : Учебник для вузов по специальности "Атомные электрические станции" / Н. Г. Рассохин . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Атомиздат, 1980 . – 360 с..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Scilab.

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 Web of Science - <http://webofscience.com/>

5. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

6. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>

7. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>

8. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elibr.mpei.ru/login.php>

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

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

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

12. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>

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

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

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

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

17. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|-----------------------|-------------------------------|--|
| Учебные аудитории для | Т-321, Учебная | стеллаж, стол, стул, компьютерная сеть |

| | | |
|--|--|--|
| проведения лекционных занятий и текущего контроля | аудитория | с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Т-305, Учебная аудитория | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Т-305, Учебная аудитория | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Помещения для самостоятельной работы | НТБ-303, Лекционная аудитория | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования | Т-305, Учебная аудитория | стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | Т-317, Помещение учебно-вспомогательного персонала | стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Парогенераторы АЭС

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Основные характеристики парогенератора. t, Q -диаграмма парогенератора. (Контрольная работа)
- КМ-2 Тепловой расчет парогенератора. Основные конструкции ПГ. (Контрольная работа)
- КМ-3 Расчет характеристик двухфазного потока. Тепловой расчет парогенератора. (Контрольная работа)
- КМ-4 Микро- и макрораспределение примесей в парогенераторе. Конструктивные особенности различных типов парогенераторов. (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 16 |
| 1 | Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора. | | | | | |
| 1.1 | Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Основные характеристики парогенератора. | | + | + | | |
| 2 | Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам. | | | | | |
| 2.1 | Конструктивные схемы парогенераторов. Требования к парогенераторам. | | | | | + |
| 3 | Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей. | | | | | |
| 3.1 | Способы передачи тепла в парогенераторе. Виды теплоносителей. | | | + | | |
| 4 | Процессы, протекающие при производстве пара. | | | | | |
| 4.1 | Процессы, протекающие при производстве пара. | | | | + | |
| 5 | Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена. | | | | | |
| 5.1 | Тепловые и гидродинамические условия работы поверхностей теплообмена. | | + | | + | |
| 6 | Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов. | | | | | |
| 6.1 | Физико-химические процессы на поверхностях теплообмена. Конструкционные материалы парогенераторов. | | | | | + |

| | | | | | |
|------------|---|----|----|----|----|
| 7 | Расчет и проектирование парогенератора. | | | | |
| 7.1 | Расчет и проектирование парогенератора. | | + | + | |
| 8 | Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов. | | | | |
| 8.1 | Надежность работы парогенератора, вопросы экономики и эксплуатации парогенераторов. | | | | + |
| Вес КМ, %: | | 25 | 25 | 25 | 25 |