

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЭНИН

Завьялов В.М.

"__" _____ 2015г.

БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПАРОГЕНЕРАТОРЫ И ТЕПЛООБМЕННИКИ

Специальность ООП 14.05.02 «АТОМНЫЕ СТАНЦИИ: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ИНЖИНИРИНГ»

Специализация № 1 «Проектирование и эксплуатация атомных станций»

Квалификация (степень) инженер-физик

Базовый учебный план приема 2015 г.

Курс 4 семестры 7, 8

Количество кредитов 9

Код дисциплины ДИСЦ.В.М9

Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч	48
Практические занятия, ч	16
Лабораторные занятия, ч	32
Аудиторные занятия, ч	96
Курсовой проект	
Самостоятельная работа, ч	228
ИТОГО, ч	324

Вид промежуточной аттестации: экзамен в 7 семестре; зачет, дифзачет в 8 семестре

Обеспечивающее подразделение кафедра АТЭС

Заведующий кафедрой _____ А.С. Матвеев

Руководитель ООП _____ Л.А. Беляев

Преподаватель _____ Д.В. Гвоздяков

2015г.

1. Цели освоения дисциплины

Выпускнику специальности 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация, инжиниринг» необходимы знания о роли парогенератора на АЭС, об особенностях конструкций и теплогидравлических процессах в парогенераторах АЭС. Изучение данной дисциплины дает возможность студентам приобрести навыки проектирования парогенераторов АЭС.

Целями преподавания дисциплины «Парогенераторы и теплообменники» являются:

- изучение конструктивного устройства парогенераторов АЭС, процессов, протекающих в них, и приобретение практических навыков проектирования эффективных парогенераторов АЭС;
- изучение и овладение принципами анализа безопасной и экономической и эксплуатации парогенераторов АЭС.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина ДИСЦ.В.М9 «Парогенераторы и теплообменники» относится к вариативной части междисциплинарного профессионального модуля учебного плана.

Пререквизитами дисциплины «Парогенераторы и теплообменники» являются дисциплины «Термодинамика», «Механика жидкости и газа», «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании», «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», «Механика», «Математическое моделирование физических процессов».

Кореквизитами дисциплины «Парогенераторы и теплообменники» являются дисциплины «Основы проектирования энергетического оборудования атомных электростанций», «Физика ядерных реакторов», «Ядерные энергетические реакторы», «Атомные электростанции».

Материал дисциплины используется студентами в учебно-исследовательской работе и при выполнении выпускной квалификационной работы.

Перечень требований к входным знаниям, умениям, навыкам по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники».

Для освоения дисциплины студент должен обладать следующими знаниями, умениями, навыками.

Иметь знания о:

- термодинамических и теплофизических параметрах различных теплоносителей;
- практическом использовании основных термодинамических процессов в энергетических установках и аппаратах;
- методах расчета теплопередачи при вынужденном движении теплоносителя, естественной конвекции, изменении агрегатного состояния, радиационном теплообмене;

- применении теории подобия к процессам теплообмена.

Уметь использовать:

- принципы фазовых переходов;
- основные уравнения термодинамики потока;
- способы распространения теплоты;
- закон Фурье при расчете передачи тепла через многослойные стенки;
- способы интенсификации теплопередачи;
- методы решения задач конвективного теплообмена в однофазной среде;
- закономерности теплообмена при фазовых превращениях;
- методику расчета теплообмена в аппаратах теплоэнергетических установок.

Иметь опыт:

- определения теплофизических свойств различных теплоносителей;
- расчетов коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи;
- расчета потерь давления при движении теплоносителей;
- практических расчетов деталей теплообменных аппаратов на прочность;
- выбора оптимальных параметров и режимов теплообменных аппаратов.

3. Результаты освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины «Парогенераторы и теплообменники» направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т.ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины

Результаты обучения (компетенции из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р12 (ПК-12; 17, 20)			У12.4	разрабатывать модели процессов в оборудовании АС	В10.3	составления и расчета математических моделей процессов и объектов АС
			У12.5	выполнять прочностные расчеты на растяжение, сжатие, изгиб, устойчивость		
	312.10	методы моделирования процессов в оборудовании	У12.6	использовать законы термодинамики и тепломас-		

		довании АС		сообщения для анализа процессов, происходящих в оборудовании АС		
	312.1 1	особенности тепловых схем и технологического оборудования АС с разными типами реакторов	У12. 9	пользоваться методами инженерного проектирования при решении комплексных и инновационных инженерных задач		
Р13 (ПК-18, 30)	313.1	критериев выбора и создания оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок			В13. 1	выбора оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок с использованием справочной литературы
			У13. 2	проводить расчетно-графические разработки оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок	В13. 2	проектирования оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок
Р15 (ПК-22)	315.1	требований к проектной и рабочей технической документации	У15. 1	разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию		
			У15. 2	оформлять проектно-конструкторские работы в области проектирования АС		
Р16 (ПК-27, 28, ПСК-1.4)			У16. 1	проводить тепло-гидравлические и прочностные расчеты оборудования АС и его элементов		
Р23 (ПСК-1.1, 1.3, 1.7)	323.1	принципы составления схем установок, систем и математических моделей процессов	У23. 1	составлять тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов преобразования ядерной энергии топлива в	В23. 1	использования математических моделей и программных комплексов для численного анализа процессов в

				тепловую и электрическую энергию		ядерно-энергетическом и тепломеханическом оборудовании АЭС
--	--	--	--	----------------------------------	--	--

В результате освоения дисциплины «Парогенераторы и теплообменники» студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

Планируемые результаты освоения дисциплины

№ п/п	Результат
РД1	Применять знания основных теплогидравлических и конструктивных характеристик парогенераторов АЭС (ПГ АЭС) для анализа и расчета протекающих в них процессов.
РД2	Уметь составлять теплотехнические схемы и математические модели процессов в парогенераторах АЭС различного типа.
РД3	Уметь работать с технической документацией и литературой, справочниками и другими информационными источниками по тематике, связанной с проектированием и эксплуатацией ПГ АЭС.
РД4	Владеть современными методами и средствами проектирования для выполнения конструкторских и поверочных теплогидравлических и механических расчетов ПГ атомных электростанций.

4. Структура и содержание дисциплины

Введение. Предмет и задачи курса. Структура курса. Рекомендуемая литература. Проблемы развития мировой атомной энергетики. Существующее состояние и перспективы развития атомных электростанций в России.

Раздел 1. Место парогенератора в тепловой схеме АЭС. Схемы производства пара на АЭС. Общие понятия о парогенераторной установке. Требования к ПГ. Общие характеристики ПГ. Классификация парогенераторов.

Раздел 2. Теплоносители и рабочие тела ПГ атомных электростанций. Сравнительные характеристики, достоинства и недостатки основных видов теплоносителей и рабочих тел (воды, жидких металлов, газов). Перспективные виды теплоносителей (свинец).

Раздел 3. Конструктивные и теплотехнические схемы парогенераторов. Парогенераторы, обогреваемые водой под давлением: параметры ПГ, основные принципы выбора конструктивной схемы. Парогенераторы, обогреваемые жидкометаллическими теплоносителями (ЖМТ): параметры ПГ, особенности конструктивных схем. Парогенераторы, обогреваемые газовыми теплоносителями: параметры, конструктивные схемы.

Сравнительные достоинства и недостатки ПГ, обогреваемых различными теплоносителями.

Перечень лабораторных работ по разделу:

- расчет тепловой диаграммы ПГ.

Раздел 4. Общая характеристика тепло-гидравлических процессов, протекающих в парогенераторах. Процессы теплообмена и гидродинамики, физико-химические процессы. Влияние этих процессов на надежность и экономичность работы основных агрегатов АЭС.

Перечень лабораторных работ по разделу:

- исследование устойчивости парогенерирующего канала (компьютерная модель).

Раздел 5. Гидродинамические процессы в парогенераторах АЭС. Основные закономерности гидродинамики и методы расчёта гидравлического сопротивления при движении однофазного потока. Особенности гидравлики потока жидкого металла.

Гидродинамика двухфазных потоков: режимы течения, расходные и истинные характеристики двухфазной среды. Методы расчёта гидравлического сопротивления при движении двухфазной среды.

Перечень лабораторных работ по разделу:

- исследование гидравлического сопротивления поверхностного теплообменника.

Раздел 6. Температурный режим теплопередающих поверхностей парогенераторов АЭС. Теплообмен при движении однофазных неметаллических (вода, газ) теплоносителей: при течении жидкости в трубах, при обтекании пучков труб. Особенности теплообмена в поверхностях нагрева парогенераторов с жидкометаллическими теплоносителями (натрий, калий, свинец). Теплообмен при движении кипящей воды.

Кризис теплообмена при кипении. Типы кризисов (1-го и 2-го рода) и методы оценки условий их возникновения.

Перечень лабораторных работ по разделу:

- определение коэффициента теплоотдачи при кипении воды в большом объеме.

Раздел 7. Естественная циркуляция рабочего тела. Безнапорное движение: понятие и закономерности барботажного процесса. Парораспределительные дырчатые листы: конструкция, характеристики, условия работы.

Понятие контура естественной циркуляции (КЕЦ). Движущий напор по контуру естественной циркуляции и факторы его определяющие. Последовательность расчёта КЕЦ. Критерии надёжности естественной циркуляции. Основные нарушения в работе контура естественной циркуляции.

Раздел 8. Условия работы поверхностей нагрева с принудительным движением рабочего тела. Температурный режим обогреваемых труб с однофазной (экономайзеры и пароперегреватели) и двухфазной (испарители) рабочей средой.

Гидравлическая и тепловая неравномерность параллельно включенных труб. Понятие о тепловой разверке. Гидродинамические характеристики (ГДХ) труб при принудительной циркуляции. Неоднозначность ГДХ. Стабильность и нестабильность парогенерирующей трубы. Факторы, влияющие

на устойчивость гидродинамической характеристики. Условия и мероприятия, обеспечивающие устойчивую работу парогенерирующей трубы.

Пульсационные режимы работы парогенерирующих труб. Механизм пульсационных колебаний и факторы, влияющие на их интенсивность. Способы снижения пульсационной неустойчивости.

Раздел 9. Сепарация пара. Требования, предъявляемые к качеству пара в ядерных энергетических установках. Причины загрязнения пара: переход примесей из воды в пар, механический унос примесей и унос за счёт растворимости веществ в паре. Методы получения чистого пара.

Факторы, влияющие на влажность пара. Сепарация пара: в свободном объёме, во внутрибарабанных сепарационных устройствах. Особенности конструкции и расчёт жалюзийных и центробежных сепараторов.

Раздел 10. Водный режим парогенераторов АЭС. Коррозия и водный режим парогенераторов АЭС. Требования, предъявляемые к парогенераторной и питательной воде. Состав парогенераторной воды: отложения примесей воды, летучие и нелетучие соединения. Факторы влияющие на скорость коррозионных процессов: состояние поверхности, состав воды, температура и скорость движения среды.

Водный режим парогенераторов с естественной и многократной принудительной циркуляцией. Особенности водного режима прямоточных ПГ.

Раздел 11. Основы проектирования парогенераторов АЭС. Задачи проектирования парогенераторов и виды расчётов. Особенности проектирования ПГ разного типа.

Теплогидравлический расчёт. Исходные данные, назначение, задачи и виды теплового и гидродинамического расчётов. Выбор основных исходных данных, общие положения методики теплогидравлического расчёта.

Расчёт водного режима ПГ с многократной циркуляцией (определение величины продувки) и водного режима прямоточных ПГ (определение межпромывочного периода). Расчёт сепарационных устройств (погружного щита, сепараторов).

Конструкторский расчёт парогенераторов АЭС. Задачи конструкторского расчёта. Выбор материалов для корпусных деталей и поверхностей теплообмена парогенератора. Расчёт габаритных размеров трубного пучка поверхности теплообмена и всего парогенератора. Расчёт на прочность основных деталей ПГ (корпуса, трубных досок, крышек, днищ и др.).

Проверочные расчёты конструкции парогенератора: цель расчётов. Стационарные и нестационарные температурные напряжения в элементах конструкций ПГ. Вибрационное воздействие теплоносителя.

Технико-экономическое обоснование конструкции парогенераторов.

Раздел 12. Вопросы эксплуатации парогенераторов АЭС. Особенности эксплуатации парогенераторов, обогреваемых водой под давлением. Пуск и останов парогенераторов. Работа парогенераторов при базовых и переменных нагрузках. Нарушения в работе ПГ АЭС. Основные мероприятия по устранению неисправностей парогенераторов: отмывка поверхностей нагрева от отложений, диагностика и ремонт ПГ.

Эксплуатация парогенераторов, обогреваемых ЖМТ. Общие сведения о взаимодействии натрия с водой (большие и малые течи). Системы контроля, регулирования параметров и аварийной защиты парогенераторов ЖМТ.

6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

6.1. Виды и формы самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу (ТСР).

Текущая СРС направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает.

- работу с материалом, размещенном в электронном учебном пособии «Парогенераторы АЭС» (среда e-LMS MOODLE);
- поиск и обзор литературы (в т.ч. электронных источников информации) по изучаемым разделам курса;
- выполнение домашних заданий;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к контрольным работам и экзамену.

Творческая самостоятельная работа включает:

- поиск, анализ, структурирование и презентация информации;
- выполнение расчетно-графических работ;
- анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме;
- анализ фактических материалов по заданной теме.

6.3. Контроль самостоятельной работы

Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- опросом при защите выполненных лабораторных, индивидуальных и практических расчетных заданий;
- автоматизированным тестированием по тематике самостоятельной работы;
- оценкой результатов трех контрольных работ по материалам лекций и практических занятий с целью проведения рейтинговой аттестации;
- оценкой ответов на вопросы и задачи экзаменационных билетов;
- оценкой защиты курсового проекта.

7. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Выполнение и защита индивидуальных домашних заданий	РД1, РД2
Выполнение и защита лабораторных работ	РД1, РД2
Контрольные работы, тестирование	РД1, РД2, РД3
Экзамен	РД1, РД2, РД3
Курсовой проект	РД1 – РД4

В качестве основной формы контроля по дисциплине предусмотрены экзамен в седьмом семестре и защита курсового проекта (дифзачет в восьмом семестре). В качестве текущего контроля в процессе изучения теоретического материала дисциплины предусматривается проверка усвоения отдельных разделов посредством письменных контрольных работ, контрольных работ с применением тестирования и диагностического тестирования в среде электронного обучения Moodle.

Для текущего контроля в течение семестра предусматривается:

- тестирование на лекциях с целью диагностического контроля;
- три контрольные работы в 7 семестре по материалам лекций с целью проведения рейтинговой аттестации в конце каждого месяца (с 25 по 28 число);
- выполнение лабораторных, индивидуальных и практических расчетных заданий и опрос при их защите.

В расчет рейтинговой оценки идут оценки отлично, хорошо, удовлетворительно, полученные за выполненные контрольные работы. Перечень вопросов для каждой контрольной прилагается к программе.

За практические, лабораторные занятия баллы ставятся согласно рейтинг-плана.

В течение семестра студент должен набрать минимум баллов, необходимый для допуска к сдаче зачета, при условии выполнения и защиты всех заданий, лабораторных работ и написании всех контрольных работ. Итоговый рейтинг определяется суммированием баллов текущей оценки в течение семестра и баллов итоговой аттестации в конце семестра по результатам зачета. За сдачу зачета ставятся баллы в соответствии с положением рейтинговой системы.

Примеры содержания фонда оценочных средств приведены ниже.

Примеры тестов входного контроля

1. Как передается теплота внутри твердого тела?
 - Теплопроводностью
 - Конвекцией
 - Совместно конвекцией и теплопроводностью
 - Совместно теплопроводностью и излучением
2. Укажите верную запись закона Фурье

$$\bullet \quad Q = \kappa \cdot F \cdot \Delta t$$

$$q = \lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n}$$

$$\delta Q_{\tau} = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF \cdot d\tau \qquad Q = \alpha \cdot (t_c - t_{жс}) \cdot F$$

3. Что характеризует собой коэффициент теплопроводности?
 - Интенсивность теплообмена между поверхностью тела и окружающей средой
 - Способность вещества проводить теплоту
 - Является мерой тепло-инерционных свойств тела
 - Нет правильного ответа
4. Укажите размерность коэффициента теплопроводности
 - Вт/(м²·час·К) Вт/(кг·час·К)
 - Вт/(м·К) Вт/м²·К
5. Какой материал из перечисленных имеет наибольший коэффициент теплопроводности?
 - Сталь углеродистая
 - Сталь нержавеющая
 - Медь
 - Стекло
6. В каких единицах измеряется плотность теплового потока?
 - Вт Дж
 - Вт/м² Вт/м³
7. Укажите размерность теплового потока Q
 - Дж/сек Вт/м
 - ккал/ (сек м²) Дж/(м² сек)
8. Плоская стенка имеет тощину δ и коэффициент теплопроводности λ . Чему равно термическое сопротивление стенки?
 - δ/λ λ/δ
 - δ^2/λ $\sqrt{\delta/\lambda}$
9. По какому закону изменяется температура по толщине плоской стенки?
 - Линейному параболическому
 - Логарифмическому гиперболическому
10. По какому закону изменяется температура по толщине цилиндрической стенки?
 - Линейному параболическому
 - Логарифмическому гиперболическому
11. Количество теплоты, передаваемое через плоскую однослойную стенку
 - $Q = -\frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t_1 - t_2)$ $Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2)$
 - $Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t_1 - t_2)$ $Q = \lambda \cdot F \cdot (t_1 - t_2)$
12. Укажите верную запись уравнения Ньютона-Рихмана ($t_{СТ}$ - температура стенки; $t_{Ж}$ - температура жидкости; F - площадь стенки, α - коэффициент теплоотдачи)
 - $Q = \alpha \cdot F \cdot (t_{СТ} - t_{Ж})$ $Q = \lambda \cdot F \cdot (t_{СТ} - t_{Ж})$
 - $q = \alpha \cdot F \cdot (t_{СТ} - t_{Ж})$ $Q = \alpha \cdot (t_{СТ} - t_{Ж})$
13. Какую размерность имеет коэффициент теплоотдачи?
 - Вт/(м · К) Вт/(м² · К)
 - Дж/(м · К) Дж/(м · К)
14. Что характеризует критери Рейнольдса?
 - Способность тела проводить теплоту
 - Теплообмен при движении жидкости
 - Величину подъемной силы

- Соотношение силы инерции и силы молекулярного трения
15. Что характеризует критерий Прандтля?
- Теплоту, переносимую конвекцией
 - Теплоту, переносимую теплопроводностью
 - Соотношение сил инерции и сил давления
 - Теплофизические свойства жидкости
16. Что характеризует критерий Нуссельта?
- Теплообмен на границе стенка жидкость
 - Способность тела проводить тепло
 - Теплофизические свойства жидкости
 - Соотношение сил инерции к силам молекулярного трения
 - Теплообмен при движении жидкости
17. Каким выражением определяется число Нуссельта? (d - характерный размер; t_{CT} - температура стенки; $t_{Ж}$ - температура жидкости; λ - коэффициент теплопроводности, α - коэффициент теплоотдачи)
- $\alpha \cdot \lambda / d$ $\alpha \cdot (t_{CT} - t_{Ж}) / d$
 - $\alpha \cdot d / \lambda$ $\alpha \cdot (t_{CT} - t_{Ж}) / \lambda$
18. Укажите размерность критерия Нуссельта?
- Вт/м² К/с
 - м² К/с Безразмерный

Примеры тестов для текущего контроля усвоения материала в рамках преподавания дисциплины «Парогенераторы и теплообменники»

1. Какой расход теплоносителя проходит через а.з. реактора РБМК на 1 кг рабочего тела, направляемого в турбину?
- 2-3 кг 8-12 кг
 - 4-7 кг
2. Сепарация пара, направляемого в турбину в энергоблоках с реактором ВК и PWR...
- осуществляется в реакторе
 - не производится, т.к. в реакторе вырабатывается перегретый пар
 - происходит в выносном элементе барабан-сепараторе
3. Какие подогревы теплоносителя в а.з. характерны для реакторов ВВЭР?
- 10-15 °С 25-35 °С
 - 50-60 °С
4. Укажите элемент поверхности нагрева, ОБЯЗАТЕЛЬНО входящий в состав любого ПГ энергоблока АЭС
- промежуточный пароперегреватель испаритель
 - первичный пароперегреватель экономайзер
5. Может ли температура рабочего тела на выходе экономайзера быть выше температуры насыщения?
- может всегда нет
 - может только в кипящем экономайзере может только в ПГ с ЖМТ
6. Какой расход теплоносителя проходит через а.з. реактора РБМК на 1 кг рабочего тела, направляемого в турбину?
- 2-3 кг 8-12 кг
 - 4-7 кг
7. Сепарация пара, направляемого в турбину в энергоблоках с реактором ВК и PWR...

- осуществляется в реакторе
 - не производится, т.к. в реакторе вырабатывается перегретый пар
 - происходит в выносном элементе барабан-сепараторе
8. Какие подогревы теплоносителя в а.з. характерны для реакторов ВВЭР?
- 10-15 °С
 - 50-60 °С
11. Укажите ВЕРНОЕ определение кратности циркуляции (D – расход воды в цирк. контуре, D_{Π} – расход пара) D/D_{Π}
- $D - D_{\Pi}$
 - D_{Π} / D
 - $(D-D_{\Pi})/ D_{\Pi}$
12. Почему крепление трубок с помощью ВНЕШНИХ коллекторов возможно только в ПГ с газовым теплоносителем?
- из-за относительно большой длины трубок
 - из-за высокого уровня температур теплоносителя
 - из-за большого количества трубок
 - из-за сравнительно низкого давления теплоносителя
13. Как преимущественно закрепляются теплообменные трубки в ПГ энергоблоков с водоохлаждаемыми реакторами?
- с помощью плоских трубных досок
 - с помощью внешних коллекторов
 - с помощью трубных досок или внутренних коллекторов
14. В каких единицах измеряется кратность циркуляции K_{Π} ?
- кг
 - с/ кг
15. Укажите ОСНОВНОЙ признак секции
- выполняет все функции ПГ
 - обязательно состоит из нескольких модулей
 - не может быть отключена независимо от других секций
 - габариты не превышают 4.5 м в диаметре
16. Каким образом в ПГ энергоблоков ВВЭР и PWR осуществляется компенсация температурных расширений трубок и корпуса?
- с помощью линзовых компенсаторов на корпусе
 - с помощью плавающей трубной доски
 - за счет использования U-образных трубок
 - за счет использования трубок Фильда

Примеры задач и вопросов к контрольной работе №1 по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники»

1. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из Э, И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен параллельно экономайзеру. В экономайзере, И и ПЕ противоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в ПП – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.
- б) Схема генерации пара на АЭС с реактором типа ВК. Достоинства и недостатки. Параметры.

2. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из Э, И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен параллельно испарителю. В экономайзере и ПЕ противоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в испарителе и ПП – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.

б) Схема генерации пара на АЭС с реактором типа РБМК. Достоинства и недостатки. Параметры.

3. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из Э, И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен параллельно первичному пароперегревателю. В экономайзере, И и ПЕ противоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в ПП – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.

б) Схема генерации пара на АЭС с реактором типа ВВЭР. Достоинства и недостатки. Параметры.

4. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из Э, И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен последовательно между испарителем и первичным пароперегревателем. В экономайзере и ПЕ противоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в испарителе и ПП – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.

б) Схема генерации пара на АЭС с реактором типа БН. Достоинства и недостатки. Параметры.

5. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из Э, И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен последовательно за первичным пароперегревателем. В экономайзере и ПЕ противоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в испарителе и ПП – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.

б) Классификация парогенераторов по типу циркуляции в испарителе (ПГ с естественной циркуляцией). Достоинства и недостатки.

6. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из Э, И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен последовательно за первичным пароперегревателем. В экономайзере и ПЕ прямоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в испарителе и ПП – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.

б) Классификация парогенераторов по типу циркуляции в испарителе (ПГ прямоточный). Достоинства и недостатки.

7. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из совмещенного Э+И, ПЕ, ПП. Промпарогреватель включен параллельно Э+И. В первичном пароперегревателе и ПЕ противоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в Э+И – прямоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ -диаграмму.

б) Классификация парогенераторов по способу компенсации температурных расширений. Достоинства и недостатки.

Примеры задач и вопросов к контрольной работе №2 по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники»

1.1 Билет 1

1. Пароперегреватель прямоточного парогенератора, обогреваемый ЖМТ. Пар движется внутри труб, теплоноситель снаружи. Найти коэффициенты теплоотдачи α_1 , теплопередачи K и расход теплоносителя G_1 .

Известны:

- компоновка – шахматная; обтекание теплоносителем – продольное; теплоноситель – На; $\alpha_2=5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$

$t_1= 400 ^\circ\text{C}$	$\delta_{\text{СТ}}= 2 \text{ мм}$
$t_2= 350 ^\circ\text{C}$	$\lambda_{\text{СТ}}= 45 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$
$D_{\text{НАР}}= 20 \text{ мм}$	$S=1.3$

$N_{TP} = 300$ шт.	$W = 2$ м/с
--------------------	-------------

2. Найти значение коэффициента теплоотдачи α_1 , обеспечивающее температурный напор $t_1 - t_2 = 30$ °С, если известны:

$$q = 1.42 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2$$

$$\alpha_1 = ? \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$\delta_{OK} = 0.12 \text{ мм}$$

$$\delta_{OTL} = 0 \text{ мм}$$

$$\delta_{CT} = 1.4 \text{ мм}$$

$$\alpha_2 = 35 \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$\lambda_{OK} = 4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

$$\lambda_{OTL} = 1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

$$\lambda_{CT} = 25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

3. Течение воды в круглой трубе. Преобразовать выражение для коэффициента теплоотдачи, представив в виде $\alpha = A \cdot (d_{ВН})^m$.

Расписать коэффициенты A , m .

1.2 Билет 2

1. Пароперегреватель прямоточного парогенератора, обогреваемый ЖМТ. Пар движется внутри труб, теплоноситель снаружи. Найти коэффициенты теплоотдачи α_1 , теплопередачи K и расход теплоносителя G_1 .

Известны:

- компоновка - квадратная; обтекание теплоносителем – продольное; теплоноситель – калий; $\alpha_2 = 5000$ Вт/(м² · °С)

$t_1 = 500$ °С	$\delta_{CT} = 1$ мм
$t_2 = 470$ °С	$\lambda_{CT} = 20$ Вт/(м · °С)
$D_{НАР} = 20$ мм	$S = 1.4$
$N_{TP} = 360$ шт.	$W = 3$ м/с

2. Найти значение коэффициента теплоотдачи α_2 , обеспечивающее температурный напор $t_1 - t_2 = 30$ °С, если известны:

$$q = 7.41 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$$

$$\alpha_1 = 15 \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$\delta_{OK} = 0.12 \text{ мм}$$

$$\delta_{OTL} = 0.2 \text{ мм}$$

$$\delta_{CT} = 1.4 \text{ мм}$$

$$\alpha_2 = ? \text{ кВт/(м}^2 \cdot \text{°С)}$$

$$\lambda_{OK} = 4 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

$$\lambda_{OTL} = 1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

$$\lambda_{CT} = 25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}$$

3. Течение воды в круглой трубе. Преобразовать выражение для коэффициента теплоотдачи, представив в виде $\alpha = A \cdot (w)^m$.

Расписать коэффициенты A , m .

8. а) Прямоточный ПГ перегретого пара, состоящий из совмещенного Э+И, ПЕ, ПП. Промпарогревателем включен параллельно ПЕ. В первичном пароперегревателе и ПЕ прямоточная схема движения теплоносителя и рабочего тела, в Э+И – противоточная. Изобразить теплотехническую схему и tQ-диаграмму.

б) Классификация парогенераторов по форме трубок поверхности нагрева и компоновке трубного пучка.

1. Запишите выражение для массового паросодержания.
2. Какая плотность используется в уравнении неразрывности для расчета скорости циркуляции?
3. В каких единицах измеряется массовая скорость, истинное объемное паросодержание?
4. Какая из двух скоростей пара (действительная или приведенная) выше при подъемном движении смеси?

5. Какие скорости входят в выражение для коэффициента проскальзывания?
6. Составьте ВЕРНОЕ выражение для расчета критерия Рейнольдса (W – скорость, $D_{\text{хар}}$ – характерный размер, ν – кинематическая вязкость, μ – динамическая вязкость, λ – теплопроводность)
7. Составьте ВЕРНОЕ выражение для расчета критерия Нуссельта (W -скорость, $D_{\text{хар}}$ – характерный размер, ν – кинематическая вязкость, μ – динамическая вязкость, λ – теплопроводность, α - коэффициент теплоотдачи)
8. Минимальное значение критерия Рейнольдса, при котором однозначно наступает турбулентный режим при течении жидкости в каналах.
9. Выведите формулу для расчета эквивалентного диаметра прямоугольного канала, если известны размеры поперечного сечения A и B .
10. Укажите общий вид выражения для расчета коэффициента теплоотдачи в случае ЖМТ.
11. Укажите общий вид выражения для расчета коэффициента теплоотдачи в случае водяного теплоносителя.

Примеры тестовых заданий к контрольной работе №3 по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники»

Тема. «Теплогидродинамическая устойчивость»

1. Продолжите выражение “**Тепловой разверкой** называют нетождественность теплообменных трубок...”
 - относительно приращений температуры
 - с точки зрения расходов рабочего тела
 - относительно приростов энтальпий
 - с точки зрения гидравлических потерь
2. Продолжите выражение “**Тепловой неравномерностью** называют нетождественность теплообменных трубок...”
 - относительно приращений температуры
 - относительно удельных тепловых потоков
 - относительно приростов энтальпий
 - с точки зрения гидравлических потерь
3. Продолжите выражение “**Гидравлической неравномерностью** называют нетождественность теплообменных трубок...”
 - относительно приращений температуры
 - относительно удельных тепловых потоков
 - относительно расходов
 - с точки зрения гидравлических потерь
4. Укажите условие, обеспечивающее **отсутствия тепловой разверки** ($\eta_{\text{Г}}$, $\eta_{\text{Т}}$ - гидравлическая и тепловая неравномерность)
 - $\eta_{\text{Г}} < \eta_{\text{Т}}$
 - $\eta_{\text{Г}} = 1 - \eta_{\text{Т}}$
 - $\eta_{\text{Г}} = 1$ и $\eta_{\text{Т}} = 1$
 - $\eta_{\text{Г}} = \eta_{\text{Т}} - 1$

Экзаменационные вопросы, примеры задач к экзаменационным билетам по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники»

Темы и вопросы к экзамену по курсу "ПГ АЭС"

1. Основные схемы генерации пара на АЭС. Сравнительные достоинства и недостатки.
2. Требования к парогенераторам АЭС. Их основные характеристики.

3. Классификация ПГ (по составу входящих в ПГ элементов, по способу организации движения в испарителе). Кратность циркуляции.
4. Классификация ПГ по виду конструкционной схемы (по способу омывания, по схеме взаимного движения, по форме труб). Понятие корпусного и секционно-модульного парогенератора.
5. Теплотехническая схема, тепловой баланс и тепловая диаграмма для парогенераторов разных типов (для ПГ с водяным теплоносителем и ЖМТ).
6. Требования к теплоносителям, используемым в ПГ АЭС, сравнительные достоинства и недостатки основных теплоносителей (вода, Na, гелий).
7. Особенности теплогидравлических процессов в ПГ АЭС. Характер изменения параметров парогенерирующего канала по длине канала.
8. Температурный режим поверхности нагрева. Распределение температуры по радиусу трубы поверхности теплообмена.
9. Классификация и основные характеристики двухфазных потоков (скорость циркуляции, приведенная, истинная скорости; массовое, расходное и объемные паросодержания).
10. Расчет потерь давления (гидравлических, нивелирных и на ускорение потока при движении однофазного теплоносителя).
11. Особенности определения гидравлических сопротивлений при движении двухфазного потока.
12. Уравнение теплопередачи. Пути повышения коэффициента теплопередачи.
13. Особенности расчёта процесса теплообмена в ПГ АЭС (основные формулы для расчёта коэффициента теплоотдачи на разных характерных участках).
14. Проектирование ПГ. Основные виды расчетов, их назначение примерный порядок.
15. Барботаж. Основные характеристики. Распределение паросодержания по высоте и диаметру барботёра и факторы, определяющие характер этого распределение.
16. Внутрибарабанные устройства, предназначенные для осушения пара в ПГ с погружной поверхностью теплообмена?
17. Суть гравитационной сепарации? Факторы, определяющие её эффективность.
18. Конструкция и принцип действия жалюзийного сепаратора. Условия и ограничения по их применению.
19. Конструкции и принцип действия центробежного сепаратора.
20. Статическая неустойчивость парогенерирующего канала (неоднозначность ГДХ, причины и факторы, способствующие неоднозначности). Мероприятия по повышению устойчивости.
21. Понятие тепловой разверки в поверхностях нагрева. Условия при которой тепловая разверка отсутствует. Тепловой и гидравлической неравномерности. Методы предотвращения гидравлической неравномерности.
22. Контур естественной циркуляции. Уравнение циркуляции и его решение.
23. Водный режим парогенераторов АЭС. Отрицательные последствия его нарушения. Требования к чистоте рабочего тела. Расчет баланса примесей во втором контуре АЭС с ВВЭР.
- * 24. Водный режим ПГ БН.
- * 25. Выбор конструкционных материалов для ПГ АЭС.
- * 26. Особенности конструкции ПГ ЖМТ.

Примечания:

1. На темы, выделенные жирным шрифтом, будут представлены задачи.
2. Темы, выделенные значком ‘*’, изучаются самостоятельно.

Примеры задач к экзаменационным билетам по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники»

Билет № 1	<p>ПГ ВВЭР с горизонтальными U - образными трубками, один конец которых закреплен во входном коллекторе, другой в выходном. В трубках движется теплоноситель.</p> <p>Известны: $N_{\text{ТР}} = 4000$ шт.; $D_{\text{ВН}} = 14$ мм; $L_{\text{ТР}} = 12$ м; $\Delta_{\text{Ш}} = 0.03$ мм; $P_{\text{ТН}} = 17$ МПа; $T_{\text{ТН,СР}} = 300$ °С.</p> <p>Вычислить потери давления на участке от входа до выхода из трубок при скорости $W=3$ м/с.</p> <p>Найти минимальные скорость и расход, обеспечивающие турбулентный режим.</p>
Билет № 2	<p>Модуль экономайзера ПГ ЖМТ с вертикальным расположением пучка прямых трубок, концы которых закреплены в верхней и нижней трубных досках. В трубках снизу вверх движется жидкий натрий.</p> <p>Известны: $N_{\text{ТР}} = 200$ шт.; $D_{\text{ВН}} = 18$ мм; $L_{\text{ТР}} = 12$ м; $\Delta_{\text{Ш}} = 0.03$ мм; $P_{\text{ТН}} = 1$ МПа; $T_{\text{ТН}} = 400$ °С.</p> <p>Вычислить потери давления на участке от входа до выхода из трубок при скорости $W=2.5$ м/с.</p> <p>Найти минимальные скорость и расход теплоносителя, обеспечивающие турбулентный режим.</p>
Билет № 3	<p>Модуль пароперегревателя ПГ ЖМТ с вертикальным расположением пучка прямых трубок, концы которых закреплены в верхней и нижней трубных досках. В трубках сверху вниз движется перегретый пар.</p> <p>Известны: $D_{\text{П}} = 200$ кг/с; $D_{\text{ВН}} = 22$ мм; $L_{\text{ТР}} = 12$ м; $\Delta_{\text{Ш}} = 0.03$ мм; $P_{\text{П}} = 13$ МПа; $T_{\text{П}} = 450$ °С.</p> <p>Вычислить потери давления на участке от входа до выхода из трубок при скорости $W=25$ м/с.</p> <p>Найти наибольшее количество трубок, обеспечивающее турбулентный режим.</p>

Примеры экзаменационных билетов по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники»

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1
	по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники» Энергетический институт курс 4
	1. Классификация и основные скоростные характеристики двухфазных потоков: скорость циркуляции, приведенные и истинные скорости.
	2. Расчет гидравлических потерь давления при движении однофазного теплоносителя.
3. Задача.	
Составил: Утверждаю: Зав. кафедрой АТЭС 15 июня 2014 г.	Д.В. Гвоздяков А.С. Матвеев
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 2
	по дисциплине «Парогенераторы и теплообменники» Энергетический институт курс 4

1. Классификация и основные характеристики двухфазных потоков: массовое паросодержание, расходное и истинное объемное паросодержание.	
2 Теплотехнические схемы и тепловые балансы ПГ с жидкометаллическим теплоносителем.	
3. Задача.	
Составил: Утверждаю: Зав. кафедрой АТЭС 15 июня 2014 г.	Д.В. Гвоздяков А.С. Матвеев

8. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Руководящими материалами по текущему контролю успеваемости, промежуточной и итоговой аттестации студентов Томского политехнического университета», утвержденными приказом ректора № 77/од от 29.11.2011 г.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

В соответствии с «Календарным планом выполнения курсового проекта»:

- текущая аттестация (оценка качества выполнения разделов и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 22 баллов);
- промежуточная аттестация (защита проекта) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), по результатам защиты студент должен набрать не менее 33 баллов).

Итоговый рейтинг выполнения курсового проекта определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература:

1. [Воробьев, Александр Владимирович](#). Парогенераторы АЭС. Основные конструкции и проектирование [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. В. Воробьев, А. М. Антонова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 3.0 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2011. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader.. Схема доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2011/m451.pdf>

2. Кириллов, Павел Леонидович. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие для вузов / П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская. — 2-е изд., перераб. — Москва: ИздАт, 2008. — 256 с.: ил. — Библиогр.: с. 250. — Условные обозначения: с. 5-8.. — ISBN 978-5-86656-210-7.

3. Кириллов, Павел Леонидович Гидродинамические расчеты: справочное учебное пособие / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев. — Москва: ИздАТ, 2009. — 213 с.: ил. — Библиография в конце глав.. — ISBN 978-5-86656-218-3.

Дополнительная литература:

1. Свойства конструкционных материалов атомной промышленности: справочник: в 8 т. / под ред. В. В. Козлова, С. В. Стрелкова. — М.: Агентэк, 2006-2009 Т. 6: Материалы для РНБ и теплообменных аппаратов АЭС. — 2009. — 244 с.— Библиогр.: с. 243-244. — ISBN 978-5-903005-09-3.

2. Воронов, Виктор Николаевич. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами: учебное пособие для вузов / В. Н. Воронов, Б. М. Ларин, В. А. Сенина. — Москва: Изд-во МЭИ, 2006. — 390 с.: ил. — Библиогр.: с. 389. — Нормативная база водно-химических режимов энергоблоков АЭС с реакторами разных типов: с. 387-388.. — ISBN 5-903072-21-6.

3. Баклушин, Рудольф Петрович. Эксплуатационные режимы АЭС: учебное пособие / Р. П. Баклушин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2012. — 530 с.: ил. — Победитель общероссийского Конкурса рукописей учебной и учебно-справочной литературы по атомной энергетике 2010 г. — Библиогр.: с. 527-530.. — ISBN 978-5-383-00641-2.

4. Тепловые и атомные электростанции : справочник / под ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. — 4-е изд., стер. — Москва: Изд-во МЭИ, 2007. — 648 с.: ил. — Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия: в 4 кн.; Кн. 3. — Библиогр.: с. 639. — Предметный указатель: с. 640-644. — ISBN 978-5-383-00018-2.

5. Теплогидравлические модели оборудования электрических станций / А. Р. Аветисян [и др.]; под ред. Г. А. Филиппова; Ф. Ф. Пащенко. — Москва: Физматлит, 2013. — 448 с.: ил. — Библиография в конце глав.. — ISBN 978-5-9221-1518-6.

6. Трунов Н. Б. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР / Н.Б. Трунов, С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. - М. : Энергоатомиздат, 2001.

7. Лукасевич Б.И., Трунов Н.Б., Драгунов Ю.Г., Давиденко С.Е. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций.- М.: ИКЦ «Академкнига», 2004.

5. Будов В.М., Фарафонов В.А. Конструирование основного оборудования АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1985.

6. Тепловые и атомные электрические станции. Справочник /М.С.Алхутов, А.Н.Безгрешнов, Р.Г.Богоявленский и др. Под ред. А.В.Клименко и В.М.Зорина.-М.: Издательство МЭИ, 2003; Энергоатомиздат, 1982,1989.

7. Проектирование теплообменных аппаратов АЭС/ Ф.М.Митенков,В.Ф.Головко, П.А.Ушаков, Ю.С.Юрьев. М.: Энергоатомиздат, 1988.

8. Кокорев Б.В., Фарафонов В.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением. М.: Энергоатомиздат, 1990.

9. Саркисов А.А., Пучков В.Н. Физические основы эксплуатации паропроизводящих установок. М.: Энергоатомиздат, 1989.

10. Оборудование теплообменное АЭС. Расчет тепловой и гидравлический. РТМ 108.031.05-84. Л.: Изд.НПО ЦКТИ, 1986.

11. Маргулова Т.Х. Расчет и проектирование парогенераторов атомных электростанций. М.-Л.: ГЭИ, 1962.

12. Андреев П.А., Гринман М.И., Смолкин Ю.В. Оптимизация теплоэнергетического оборудования АЭС. М.: Атомиздат, 1975.

Internet–ресурсы (в т.ч. Перечень мировых библиотечных ресурсов):

- электронное учебное пособие «Парогенераторы АЭС» в среде e-LMS MOODLE;
- Росатом, Госкорпорация (полный цикл в сфере атомной энергетики и промышленности, Москва) <http://www.rosatom.ru/>
- «Концерн Росэнергоатом», ОАО (компания, эксплуатирующая АЭС России, Москва) <http://www.rosenergoatom.ru/>
- Атомстройэкспорт, ЗАО (строительство и эксплуатация АЭС за рубежом, Москва) <http://www.atomstroyexport.ru/>
- ИБРАЭ — Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (Москва) <http://www.ibrae.ac.ru/>
- НИКИЭТ им. Н. А. Доллежала (Москва) <http://www.nikiet.ru/>
- Всероссийский научно-исследовательский институт атомного энергетического машиностроения (ОАО «ВНИИАМ») <http://www.vniiam.ru/>

Используемое программное обеспечение:

- демонстрационная тренажер-программа “ПГ энергоблока БН-600”;
- демонстрационная тренажер-программа “ПГ энергоблока БН-800”;
- «TAVL1» - программа определения термодинамических и теплофизических параметров воды и водяного пара;

- «TFS», «TFM» – программа для расчета теплофизических свойств теплоносителей;
- WaterSteamPro – программа теплофизических и термодинамических свойств теплоносителей;
- «KANAL» - программа для исследования устойчивости парогенерирующего канала;
- «ALFA-1» и «ALFA-2» - программы для исследования теплообмена в поверхностях нагрева парогенераторов АЭС (со стороны теплоносителя и со стороны рабочего тела).

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

№ п/п	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, ауд., количество установок
1	Компьютерный класс	к. 4, ауд. 31, 15 комп.
2	Компьютерный класс	к. 4, ауд. 32, 20 комп.
3	Компьютерный класс	к. 4, ауд. 101А, 15 комп.
4	Лаборатория физического моделирования	к. 4, ауд. 101Б, В 2 установки

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по специальности: 14.05.02 «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг».

Программа одобрена на заседании кафедры Атомных и тепловых электростанций Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического университета
(протокол № 58 от « 03» июня 2015 г.).

Автор _____ доцент Д.В. Гвоздяков

Рецензент _____ доцент Ю.Я. Раков