

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШЭ

Матвеев А.С.

2019 г.

ПРОГРАММА

Государственного экзамена по специальности

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Обеспечивающее подразделение НОЦ И.Н.Бутакова

Учебный план набора 2014 года

Руководитель НОЦ И.Н. Бутакова

Заворин А.С.

Руководитель ООП

Воробьев А.В.

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИШЭ
_____ Матвеев А.С.
«__» _____ 2019 г.

ПРОГРАММА

**Государственного экзамена по специальности
14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг**

Обеспечивающее подразделение НОЦ И.Н.Бутакова

Учебный план набора 2014 года

Руководитель НОЦ И.Н. Бутакова

Заворин А.С.

Руководитель ООП

Воробьев А.В.

2019

Предисловие

Программа составлена на основе ФГОС ВО и СУОС ТПУ по специальности 14.05.02
Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Программа утверждена на заседании Ученого совета ИШЭ
«26» июня 2019г. протокол № 11

Государственный междисциплинарный экзамен проводится в письменной форме. Экзаменационный билет состоит из двух частей:

- Вопросы первого уровня – 10 вопросов по 5 баллов каждый (максимально);
- Вопросы второго уровня – 3 вопроса по 10 баллов каждый (максимально).
- Расчетные задания – 2 задания по 10 баллов каждый (максимально).

Максимальное количество баллов за экзамен – 100 баллов.

Качество результатов экзамена в традиционной оценке соответствует:

100 – 90 баллов – отлично;

89 – 70 баллов – хорошо;

69 – 55 баллов – удовлетворительно.

Образец билета приведен в Приложении.

СОДЕРЖАНИЕ

Программа государственного междисциплинарного экзамена по специальности 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг составлена на основе рабочих программ дисциплин Учебного плана 2014 г. приема: «Теория переноса нейтронов», «Физика ядерных реакторов», «Кинетика ядерных реакторов», «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании», «Ядерные энергетические реакторы», «Парогенераторы АЭС», «Турбомашины АЭС», «Нагнетатели АЭС», «Атомные электростанции», «Природоохранные технологии на АЭС».

Дисциплина “ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ”

Основные виды радиоактивного распада и их характеристики. Типы ядерных реакций необходимо учитывать в расчетах реакторов. Приведите примеры сечений наиболее важных в физике ядерных реакторов. Классификация нейтронов встречающихся в ядерном реакторе.

Основные особенности сечений поглощения и деления уранового топлива. Классификация реакторов по спектру первичных нейтронов, вызывающих деление, поясните рисунком. Определение основных характеристик спектра нейтронов. Кривая выхода осколков деления (в чем ее важность и как она зависит от энергии нейтрона, вызывающего деление). Оценка теплотворной способности ядерного горючего.

Особенности спектра большого реактора с водяным замедлителем и его изменение от водо-уранового отношения. Вывод элементарного кинетического уравнения и где оно применяется. Формула 4-х сомножителей. Уравнение диффузии тепловых нейтронов и какие граничные условия чаще всего используются для его решения.

Определение альbedo тепловых нейтронов и пример его определения в диффузионном приближении. Составляющие стационарного уравнения замедления. Особенности спектров на водороде и в тяжелых замедлителях. Уравнение замедления в поглощающей среде через переменную возраста.

Дисциплина “ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ”

ТЕОРИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Нестационарные процессы в ЯР. Элементарное кинетическое уравнение. Уравнение диффузии в переходных процессах без учета запаздывающих нейтронов. Период ЯР на мгновенных нейтронах. Реактивность. Единицы измерения реактивности. Влияние запаздывающих нейтронов, их образование и характеристики при делении разных топлив (число групп, выход, средняя энергия). Понятие ценности запаздывающих нейтронов β и ее определение для энергетических реакторов разных типов. Математическая постановка задачи кинетики с учетом 6 групп запаздывающих нейтронов, ее решение, графическая интерпретация решения. Установившийся и переходные периоды.

Формула обратных часов. Особенности переходных процессов при больших β . Особенности переходных процессов при малых β . Понятие мгновенной критичности. График зависимости установившегося периода от реактивности для реакторов с разными спектрами первичных нейтронов, вызывающих деление. Изменения нейтронного потока с учетом запаздывающих нейтронов при различных знаках реактивности. Особенности останова.

Кинетика реактора при линейном изменении реактивности. Кинетика реактора с учетом температурного эффекта.

Влияние изменения изотопного состава ядерного горючего во времени на работу ЯР

Процессы, происходящие при работе с ядерным горючим. Изменения изотопного состава исходного уранового топлива. Уравнения выгорания для теплового реактора. Общее уравнение выгорания. Упрощения при решении уравнений выгорания. Физический смысл эффективного времени. Случай малого выгорания. Особенности выгорания при большом эффективном времени.

Глубина выгорания топлива. Увеличение глубины выгорания, способы перегрузки топлива. Кампания топлива. Кампания реактора. Обеспечение требуемой кампании. Примерный порядок расчета изменения изотопного состава топлива и определения длины кампании.

Выгорающие поглотители (расчет скорости выгорания, предъявляемые требования, способы размещения). Блокированные выгорающие поглотители.

Воспроизводство делящегося материала. Период удвоения. Плутониевый коэффициент для реакторов разных типов.

Дисциплина “КИНЕТИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ”

Кинетика отравления топлива: основные определения и физические особенности основного отравителя - ксенона ^{135}Xe .

Математические модели оценки динамики поведения ксенона, области их применения. Особенности поведения йода. Принципы оценки потери реактивности при отравлении ксеноном по разным методикам.

Зависимость стационарного отравления ксеноном от обогащения уранового топлива и плотности потока нейтронов. Стационарное отравление для условного теплового реактора, энергетических реакторов типа ВВЭР-1000, ВВЭР-440, РБМК-1000.

Понятие эффективного периода полувыгорания ксенона. Особенности отравления на переходных режимах. Йодная яма, выбеги реактивности и их основные характеристики. Понятия о к ксеноновых волнах и алгоритмах их компенсации.

ТЕОРИЯ ГЕТЕРОГЕННОГО РЕАКТОРА

Преимущества и недостатки гетерогенных Р с физической точки зрения. Понятие блок-эффекта или блокировки. Элементарная ячейка. Метод эффективной гомогенизации. Критерии допустимости гомогенизации. Внутренний и внешний блок-эффекты.

Коэффициент использования тепловых нейтронов. Особенности усреднения сечения по максвелловскому спектру. Температура нейтронного газа. Выбор элементарной ячейки и трансформация ее в эквивалентную ячейку Вигнера-Зейца. Коэффициент проигрыша и его определение.

Размножение на быстрых нейтронах. Спектр нейтронов деления. Средний путь пробега и средний пробег быстрого нейтрона между двумя столкновениями в замедлителе. Понятие широкой и тесной решеток. Размножение на быстрых нейтронах в широких и тесных решетках.

Вычисление вероятности избежать резонансного захвата ϕ . Зависимость ϕ от шага решетки и диаметра твэл.

Длина пробега нейтронов в решетке. Определение квадрата длины диффузии в широких и тесных решетках. Определение возраста. Учет эффекта неупругого замедления в блоке.

ШЛАКОВАНИЕ РЕАКТОРА

Шлакование топлива: основные определения и физические особенности шлаков. Уравнение шлакования. Анализ шлакования в начальный период работы реактора. Методика расчета шлакования.

Двойственный характер поведения самария.

Математические модели оценки динамики поведения самария с учетом и без учета радиационного отжига прометия, область применения моделей.

Накопление ^{149}Sm в режиме пуска свежего реактора. Графики установления равновесного отравления для реакторов разных типов. Зависимость времени достижения равновесного отравления самарием от плотности потока тепловых нейтронов.

Нестационарное отравление. Режим останова со стационарного уровня мощности. Оценка глубины прометиевого провала. Зависимость предельного отравления самарием и стационарного отравления ксеноном от плотности потока тепловых нейтронов. Понятие "самариевой смерти" реактора.

Режим останова с нестационарного уровня мощности. Номограммные методы оценки потери реактивности для этих режимов.

Переходные режимы работы реактора после достижения равновесного отравления самарием.

Обоснование алгоритма экспресс-оценки отравления самарием. Основные приемы нового графоаналитического метода и метода Владимирова.

Нейтронно-физические измерения (НФИ) в процессе эксплуатации реактора.

Необходимость и объем НФИ. Физический пуск ЯР. Этапы холодного и горячего физпуска. Энергопуск. Определение критической загрузки. Построение графика обратной величины подкритического потока. Коэффициент умножения. Калибровка органов регулирования. Метод разгона Р. Градуировка по периоду разгона в Р с большим источником нейтронов. Градуировка в подкритическом реакторе. Метод сравнения или компенсации. Метод скачка плотности нейтронов.

Определение температурного и мощностного эффектов и коэффициентов реактивности. Определение стационарного и нестационарного отравления ксеноном. Методика определения йодной ямы.

Определение распределения энерговыделения. Активационный метод, с помощью ионизационных камер и счетчиков нейтронов, из дифференциальной характеристики АР и др. Уточнение физических характеристик органов регулирования.

Дисциплина «ТЕПЛОМАССОБМЕН В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ»

СТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Способы переноса тепла. Основные понятия и определения тепломассообмена. Одномерные стационарные задачи теплопроводности. Перенос тепла в ребрах. Двухмерные стационарные задачи теплопроводности.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

Линейные одномерные нестационарные задачи теплопроводности. Численные методы решения задач теплопроводности.

ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Математическая постановка задач конвективного теплообмена.

ТЕОРИЯ РАЗМЕРНОСТЕЙ И ТЕОРИЯ ПОДОБИЯ В ЗАДАЧАХ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА

Условия подобия конвективного теплообмена при вынужденном движении теплоносителя и при естественной конвекции. Критерии подобия и уравнения подобия. Обобщения опытных данных на основе теории подобия

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В ОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ

Теплообмен в трубах при ламинарном и турбулентном течении. Теплообмен и сопротивление при течении в кольцевых каналах. Теплообмен и сопротивление при продольном обтекании пучков стержней.

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Уравнение и коэффициент теплопередачи. Теплопередача через одно- и многослойную плоские стенки, через одно- и многослойную цилиндрические стенки. Расчет тепловой изоляции.

ТЕПЛООБМЕН ПРИ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛООВОГО РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.

Типы теплообменных аппаратов. Схемы взаимного движения теплоносителей, средний температурный напор. Уравнение теплового баланса, водяной эквивалент теплоносителя. Расчет конечной температуры теплоносителей. Расчет прямоточных и противоточных рекуперативных теплообменных аппаратов.

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Законы теплового излучения: виды лучистых потоков, закон Планка, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа, закон Ламберта. Лучистый теплообмен между телами. Тепловое излучение газов: интенсивность излучения, коэффициент поглощения.

ПОНЯТИЕ О СЛОЖНОМ ТЕПЛООБМЕНЕ

Теплопередача через ребристые поверхности, через газовые и жидкостные прослойки. Интенсификация процессов теплообмена.

РАСЧЕТ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ

Теплообмен в реакторах, парогенераторах и теплообменниках паротурбинной установки. Расчет температурного поля в тепловыделяющих элементах.

Дисциплина “ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ”

Требования, предъявляемые к конструктивным решениям ядерных реакторов в целом и отдельным конструктивным элементам: корпус реактора, активная зона, внутрикорпусные устройства, технологические каналы, кассеты и ТВС, тепловыделяющие элементы, крепление и дистанционирование твэлов, органы регулирования.

Классификация ЯР. Рассмотрение конструктивных схем и особенностей конструктивных решений в зависимости от используемых замедлителей, теплоносителей. Сопоставление достоинств и недостатков отдельных типов.

Ядерные реакторы корпусного типа с водным замедлителем, теплоноситель: вода под давлением, кипящая вода; технологические параметры. Компановка реактора. Конструкция твэлов, кассет, внутрикорпусных устройств, корпуса, уплотнение крышки с корпусом. Тенденции развития ВВЭР.

Ядерные реакторы атомных станций теплоснабжения. Компановка реактора. Конструкция ТВС, твэлов. Внутрикорпусные устройства. Теплообменники промежуточного контура.

Реакторы канального типа с графитовыми замедлителями и водным теплоносителем. Компановка реактора. Конструкция твэлов, Тепловыделяющих сборок, технологических каналов, узлов активной зоны. Тенденции развития реактора типа РБМК.

Реакторы с тяжеловодными замедлителями. Особенности конструкции тяжеловодных реакторов с водным, тяжеловодным, газовым теплоносителем. Газоохлаждаемые реакторы.

Магноксовые, усовершенствованные, высокотемпературные реакторы. Конструктивные решения. Микротвэлы ВТГР.

Реакторы на быстрых нейтронах. Классификация ЯР. Компонировка реактора и оборудования 1 контура. Конструкции твэлов кассет активной зоны и зоны воспроизводства. Тенденции развития реакторов типа БН.

ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ И КОЭФФИЦИЕНТЫ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ

Составляющие энерговыделения в материалах: торможение быстрых нейтронов, поглощение гамма-излучения, поглощение вторичного гамма-излучения, самопоглощение вторичного излучения. Расчет составляющих.

Выделение тепла в замедлителе и стержнях СУЗ. Энерговыделение во внутрикорпусных устройствах, корпусе реактора. Тепловая защита. Кольцевой водяной бак.

Неравномерность энерговыделения. Причины случайных отклонений параметров реактора от номинала. Понятие о коэффициентах неравномерности. Технологические эксплуатационные отклонения. Механические коэффициенты. Значения коэффициентов неравномерности для реакторов различных типов (ВВЭР, РБМК, БН).

МЕТОДИКА ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА РЕАКТОРОВ

Факторы, лимитирующие параметры и мощность реактора: ограничения по температурам топлива, конструкционных материалов; термическим напряжениям, тепловым потокам, скоростям теплоносителя, паросодержанием в кипящих реакторах. Конструктивные ограничения.

Цель и задачи теплового расчета, соображения по определению исходных данных для его проведения. Компонировка реактора. Удельные мощности реакторов различных типов. Определение параметров активной зоны.

Распределение температуры теплоносителя по высоте канала. Распределение температур в твэлах различной формы и в случаях наличия дефектов. Проверка запаса по критической тепловой нагрузке. Возможные вариации параметров с целью получения приемлемых значений коэффициентов запаса и температур.

РАСЧЕТ РЕАКТОРОВ С КИПЯЩИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Типы кипящих реакторов. Факторы, ограничивающие мощность кипящих реакторов. Способы интенсификации теплообмена и пути увеличения допустимых мощностей каналов. Способы организации циркуляции в реакторах.

Методика проведения теплового расчета кипящих реакторов с естественной циркуляцией. Расчет движущего напора и сопротивления контура циркуляции. Определение расчетной кратности циркуляции и среднего паросодержания. Конструктивные решения, влияющие на кратность циркуляции. Особенности расчета реакторов с принудительной циркуляцией. Расчет одиночного канала с кипением.

Критерии надежности циркуляции. Теплогидравлическая устойчивость режимов одиночного канала и системы параллельных каналов. Пульсации расхода по каналам. Гидродинамическая характеристика канала, факторы на нее влияющие.

РАСЧЕТ РЕАКТОРОВ С НЕВОДЯНЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Некоторые вопросы расчетов реактора с газовым охлаждением. Проблемы, связанные с увеличением интенсивности теплоотвода и снижением затрат на перекачку теплоносителя. Высокотемпературные газовые реакторы. Особенности расчета газовых реакторов с шаровыми твэлами. Инженерные проблемы использования гелия.

Особенности расчета быстрых реакторов. Проблемы конструирования реакторов на быстрых нейтронах. Удельные тепловыделения и проблемы теплоотвода. Теплоносители

реакторов на быстрых нейтронах. Особенности теплогидравлического расчета реакторов на быстрых нейтронах.

Дисциплина “ПАРОГЕНЕРАТОРЫ АЭС”

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.

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.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

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.

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.

УСЛОВИЯ РАБОТЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ 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.

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.

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.

Дисциплина “ТУРБОМАШИНЫ АЭС”

СТУПЕНИ ТУРБИНЫ

Понятие о ступенях турбин. Основные уравнения потока сжимаемой и несжимаемой жидкости: уравнение состояния, уравнение энергии, количества движения и неразрывности для одномерного течения, уравнение Бернулли. Тепловой процесс в турбинной ступени.

Решетки ступеней турбин. Процессы в сопловых решетках паровых турбин: скорости истечения, типы сопл, потери энергии, скоростные коэффициенты, коэффициенты расхода и углы выхода потока из решеток, работа сотрудников кафедры АТЭС в области исследования коэффициентов расхода при течении влажного пара через турбинные решетки. Расширение потока в косом срезе решеток. Переменный режим истечения из каналов и решеток. Сетки относительных расходов. Классификация решеток, обозначение их. Геометрические, газодинамические, режимные параметры решеток. Классификация потерь в решетках: составляющие коэффициента потерь, их характеристика.. Влияние геометрических и режимных параметров на характеристики турбинных решеток. Взаимное влияние решеток, возникновение вибраций, отстройка от резонанса как фактор обеспечения надежной работы турбинной ступени и турбины в целом.

Активный и реактивный принципы работы ступени. Степень реактивности турбинной ступени, усилия, действующие на лопатки, потеря на рабочих лопатках и с выходной скоростью турбинной ступени. Относительный КПД на лопатках активной и реактивной турбинных ступеней, его зависимость от отношения скоростей, баланс потерь энергии этих ступеней. Потери на трение диска в паре, вентиляцию, краевые потери (на выколачивание), от утечек в турбинной ступени.

Течение влажного пара в решетках: процессы возникновения влаги, ее движение, образование крупных капель, переохлаждение, нестационарные явления и обеспечение надежности при этом, расходные и угловые характеристики, потери энергии. Степень дисперсности влаги и ее влияние на экономичность турбинной ступени. Потери от влажности в турбинной ступени. Относительный внутренний КПД ступени, расчетное значение отношения скоростей. Процессы в h-s диаграмме.

Эрозия, обеспечение надежности, активные и пассивные методы борьбы с ней. Сепарация влаги; методы сепарации влаги из проточных частей турбин (внутреннее влагоудаление); эффективность влагоудаления за направляющими аппаратами и рабочими лопатками; внутриканальная сепарация. Коэффициент сепарации и факторы, влияющие на него.

МНОГОСТУПЕНЧАТЫЕ ТУРБИНЫ

Конструкция многоступенчатой турбины. Изменение параметров вдоль проточной части, процесс в h-s-диаграмме. Преимущества многоступенчатых турбин. Дополнительные

потери. Коэффициент возврата тепла; степень реактивности в ступенях, использование выходной энергии потока в ступенях, выбор частоты вращения. Предельные размеры последних ступеней, предельная мощность. Выбор конструкции турбины. Особенности конструкций турбин АЭС. Определение расхода пара на турбину. Разбивка теплоперепадов по цилиндрам. Предварительные расчеты первой и последней ступеней цилиндров. Распределение теплоперепадов между ступенями.

Типы внешних сепарационных устройств, сепараторы-пароперегреватели. Особенности детального расчета ступеней. Осевые усилия и способы их уравнивания. Концевые уплотнения и особенности их конструкций для турбин АЭС.

ПЕРМЕННЫЙ РЕЖИМ ТУРБИН

Работа одиночной ступени при переменном режиме. Влияние отношения скоростей на КПД и степень реактивности ступени. Распределение давлений и теплоперепадов в турбине при изменении пропуска пара. Дроссельное парораспределение. Работа турбины с дроссельным парораспределением при переменном пропуске пара, р-G диаграмма. Регулирование мощности при скользящем давлении. Сопловое и обводное парораспределение. Выбор способа парораспределения для турбин АЭС. Особенности переходных процессов (смены нагрузок) при каждом виде парораспределения. Работы кафедры АТЭС ТПУ в области парораспределения паровых турбин.

Влияние отклонений параметров свежего пара, давления отработавшего пара на экономичность турбины, универсальная кривая турбины. Особенности работы последней ступени конденсационной турбины на переменном режиме. Энергетическая характеристика конденсационной турбины.

Дисциплина «НАГНЕТАТЕЛИ АЭС»

НАЗНАЧЕНИЕ НАСОСОВ И ИХ МЕСТО В ТЕПЛОВОЙ СХЕМЕ АЭС

Классификация насосов по назначению, по принципу действия. Основные параметры насосов: подача, напор, полезная удельная работа, мощность, КПД. Понятие насосной установки. Основные элементы насосной установки, их назначение. Устройство и принцип действия центробежного насоса.

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАШИН

Конструктивная схема рабочего колеса центробежной машины, основные геометрические и кинематические характеристики. Типы рабочих лопастей центробежной машины. Треугольники скоростей. Уравнение сплошности потока. Уравнение Бернулли. Уравнение Эйлера, теоретический и действительный напор. Влияние угла β_2 на напор, развиваемый центробежной машиной. Степень реактивности рабочего колеса. Уравнение баланса энергии в рабочем колесе центробежной машины. КПД и потери энергии в лопастной машине: гидравлический, объемный, внутренний, механический и полный КПД.

ПОДОБИЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МАШИН

Необходимость и значение теории подобия. Условия подобия. Критерии подобия: коэффициент быстроходности. Формулы пропорциональности. Универсальные и безразмерные характеристики. Определение размеров рабочего колеса центробежной машины. Основные положения расчета: цель, исходные данные. Алгоритм упрощенного метода расчета рабочего одноступенчатого центробежного насоса.

РАБОТА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В СЕТИ

Способы регулирования подачи и напора центробежных насосов. Сравнительная оценка разных способов регулирования. Параллельное и последовательное соединение центробежных насосов. Неустойчивость работы центробежных насосов. Понятие и физическая природа кавитации. Геометрическая и вакуумметрическая высота всасывания, кавитационный запас. Мероприятия для предотвращения кавитации. Энергосберегающие технологии при эксплуатации насосного оборудования. Мероприятия для обеспечения

экономичной работы насосов. Частотно-регулируемый электропривод (ЧРП): теоретические основы ЧРП, оценка эффекта от применения ЧРП.

УСТРОЙСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАСОСОВ АЭС

Особенности конструкций насосного оборудования АЭС: главный циркуляционный насос, питательные и конденсатные насосы. Материалы, используемые для изготовления узлов и деталей АЭС. Выбор насосов по заданным рабочим параметрам. Приводные двигатели.

СТРУЙНЫЕ НАСОСЫ

Понятие и принцип действия струйного насоса. Достоинства и недостатки струйных насосов. Область применения струйных насосов на АЭС. Пароструйный и водоструйный эжекторы: устройство, характеристики и особенности эксплуатации.

ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРЫ

Область применения центробежных вентиляторов на АЭС. Принципиальная конструкция центробежного вентилятора, основные узлы. Давление, развиваемое вентилятором. Коэффициент полного давления. Подача, мощность и КПД вентилятора. Выбор вентилятора по заданным параметрам. Характеристики и регулирование центробежных вентиляторов. Неустойчивость работы вентилятора. Помпаж. Особенности конструкций вентиляторного оборудования АЭС.

КОМПРЕССОРЫ

Понятие компрессора и компрессорной установки. Типы компрессоров. Применение компрессоров на АЭС. Основные параметры компрессоров. Термодинамика компрессорных машин. Мощность и КПД компрессора. Объемные компрессоры. Индикаторная диаграмма объемных компрессоров.

Дисциплина “АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ”

ТИПЫ И КЛАССИФИКАЦИЯ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Принципиальные технологические схемы основных типов АЭС: с реакторами водородного типа (ВВЭР), быстрыми реакторами (БР), с канальными водографитовыми реакторами; атомной теплоэлектроцентрали (АТЭЦ) и атомной станции теплоснабжения (АСТ). Основные требования, предъявляемые к АЭС: экономичность, надежность, экологичность. Пути их реализации.

ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ И ОБЩЕЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АЭС

Показатели тепловой экономичности конденсационной турбоустановки и энергоблока АЭС. Особенности определения показателей тепловой экономичности по выработке электроэнергии на атомной теплоэлектроцентрали. Показатели общей экономичности атомных электростанций.

ПАРАМЕТРЫ ПАРА НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Выбор и обоснование начальных параметров пара на АЭС. Схемы внешней сепарации пара и промежуточного перегрева на атомных электростанциях. Особенности выбора начальных параметров и применения промперегрева на АТЭЦ.

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДОГРЕВ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ (РПВ)

Схемы включения поверхностных регенеративных подогревателей. Схемы отвода дренажа. Применение охладителей дренажа. Применение пароохладителей (схемы Виолена и Рикара). Схемы включения смешивающих подогревателей.

Структурные схемы тракта высокого и низкого давления АЭС. Конструкции регенеративных подогревателей: поверхностных ПВД и ПНД, смешивающих.

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ АЭС

Факторы, определяющие вакуум в конденсаторе. Эжекторные установки: назначение, состав и схемы включения пускового и основных эжекторов. Борьба с присосами воздуха и воды в конденсаторе. Организация деаэрации рабочего тела в конденсаторе.

БАЛАНСЫ ПАРА И ВОДЫ, СПОСОБЫ ВОСПОЛНЕНИЯ ПОТЕРЬ

Балансы пара и воды на АЭС. Назначение и функции, выполняемые испарителем на АЭС. Конструкция испарителей и конденсаторов испарителей. Продувка парогенераторов и ее использование.

ОТПУСК ТЕПЛОТЫ ОТ АЭС ВНЕШНИМ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

Системы теплоснабжения от электростанций. Температурный график теплосети. Отпуск теплоты из нерегулируемых отборов турбины. Схемы включения сетевых подогревателей в ПТУ с нерегулируемыми и регулируемыми отборами пара.

ДЕАЭРАЦИОННЫЕ И ПИТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Пути поступления газов в тракты АЭС. Способы дегазации питательной воды (химическая и термическая деаэрация). Состав деаэрационной установки питательной воды (ДПВ). Питательные насосные установки.

СОСТАВЛЕНИЕ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ (ПТС) ПАРОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Содержание ПТС. ПТС серийных энергоблоков АЭС. Основы составления ПТС энергоблока АЭС. Расчет ПТС методом коэффициентов изменения мощности (КИМ). Расчет принципиальной тепловой схемы энергоблока и показателей тепловой экономичности в условиях эксплуатации.

ПОЛНАЯ ТЕПЛОВАЯ СХЕМА АЭС. ТРУБОПРОВОДЫ АЭС

Содержание развернутой (полной) тепловой схемы атомной электростанции (РТС). Технологические структуры АЭС и их сравнение. Классификация стационарных трубопроводов. Арматура. Классификация арматуры по типам и параметрам. Назначение, конструкция и схемы включения редуционно-охладительных установок (РОУ, БРОУ). Методика теплового расчета РОУ.

ГЛАВНЫЙ РЕАКТОРНЫЙ КОНТУР И ЕГО ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Реакторные установки. Система компенсации давления первого контура АЭС с реактором ВВЭР. Системы продувки, подпитки и борного регулирования первого контура АЭС с реакторами ВВЭР. Системы реакторного отделения АЭС с РБМК и РБН.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГОБЛОКОВ АЭС

Явление самовыравнивания реактора ВВЭР. Регулирование энергоблоков с реакторами ВВЭР: программы и схемы. Регулирование энергоблоков с реакторами РБМК: особенности программы регулирования и принципиальная схема. Регулирование энергоблоков с реакторами БН: особенности программы регулирования и принципиальная схема.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ АЭС

Потребности технической воды на АЭС. Источники водоснабжения. Сооружения и устройства систем технического водоснабжения. Выбор системы технического водоснабжения.

Дисциплина “ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА АЭС ”

ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ ОТХОДОВ В ЯДЕРНОМ ТОПЛИВНОМ ЦИКЛЕ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Источники образования отходов в ядерном топливном цикле. Классификация радиоактивных отходов АС. Специфика условий эксплуатации АС. Основные принципы и

нормы радиационной безопасности. Основные дозовые пределы. Ограничения выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду.

ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНОГО ВЫБРОСА И ЗАЩИТНОГО ГАЗА

Характеристика газоаэрозольного выброса. Очистка технологических газов от РБГ. Способы охлаждения и осушки очищаемого газа. Схемы РХГС очистки технологических газов на АЭС с реакторами ВВЭР и РБМК. Очистка от РБГ защитного газа на АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Очистка технологических сдувок от йода и аэрозолей. Очистка вентиляционных выбросов. Системы вентиляции и вентиляционные трубы атомных станций. Пути совершенствования систем очистки технологических газов и вентиляционного воздуха АЭС.

РАСSEИВАНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ

Строение атмосферы. Уравнение турбулентной диффузии при рассеивании радионуклидов. Форма факела выброса и условия рассеивания.

ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДОЕМОВ ПРИ РАБОТЕ АЭС

Масштабы потребления воды при охлаждении конденсаторов турбин. Допустимые температуры воды в естественных водоемах и водостоках. Перспективы применения различных способов охлаждения. Использование сбросного тепла АЭС.

ХРАНЕНИЕ И ЗАХОРОНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Системы обращения с радиоактивными отходами. Требования безопасности при проектировании и эксплуатации систем обращения с радиоактивными отходами. Переработка радиоактивных отходов (РАО). Отверждение жидких РАО. Кондиционирование РАО. Хранение и захоронение РАО. Требования к районам длительного хранения и захоронения радиоактивных отходов.

РАДИАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Методы и приборы радиационного контроля окружающей среды. Радиационный экологический мониторинг в районе АЭС. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки АСКРО.

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Конспекты лекций по дисциплинам специальности.
2. Кузьмин А.В. Основы теории переноса нейтронов (лабораторный практикум): учебное пособие для вузов. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 192 с.
3. Кузьмин А.В. Экспериментальное и расчетное определение возраста нейтронов деления в различных средах: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ. 2007. – 240 с.
4. Владимиров В.И. Физика ядерных реакторов: Практические задачи по их эксплуатации. Изд. 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - 480 с.
5. Кудинов А.А. Тепломассообмен: Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2014. 375 с.
6. Брюханов О.Н. Шевченко С.Н. Тепломассообмен: Учебник. М.: ИНФРА-М, 2014. - 464с
7. Зорин В.М. Атомные электростанции : учебное пособие для вузов / В. М. Зорин. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 670 с.
8. Насосы и насосные станции: учебник / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва: Бастет, 2010. — 448 с.: ил.
9. Антонова А.М., Воробьев А.В. Атомные электростанции [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. М. Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 2-е изд., перераб. и доп.. — 1 компьютерный файл (pdf; 3.9 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из сети НТБ ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader.
10. Тепловые и атомные электростанции. Справочник / Под общ. ред. Чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М.Зорина. М.: Издательство МЭИ, 2003.

11. Г. И. Росман, Г. И. Быховский, Б. Г. Самсонов; Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья имени Н. М. Федоровского. — Москва: ВИМС, 2004. — 240 с.: ил. — Минеральное сырье; N 15. — Библиогр.: с. 228-240.. — ISBN 5-901837-07-X.

Дополнительная

1. Примеры и задачи по тепломассообмену : учеб.пособие / [В. С. Логинов, А. В. Крайнов, В. Е. Юхнов и др.]. — Москва: Лань, 2011. — 256 с.: ил.
2. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. М.: Высшая школа, 1969, 1972, 1978, 1984.
3. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. М.: Высшая школа, 1977.
4. Разработка и исследование оборудования энергоблоков АЭС с вертикальными парогенераторами. Труды ЦКТИ, 1982, вып.199.
5. Нормы расчета на прочность элементов реакторов, парогенераторов, сосудов и трубопроводов атомных электростанций. М.: Металлургия, 1973.
6. Ремжин Ю.Н., Слабиков В.А. Основы компоновки и теплового расчета парогенераторов атомных электростанций. Л.: Изд.ЛГУ, 1981.
7. Андреев П.А., Гремилов Д.И., Федорович Е.Д. Теплообменные аппараты ядерных энергетических установок. Л.: Судостроение, 1969.
8. Шаманов Н.П., Пейч Н.Н., Дядик А.Н. Судовые ядерные паропроизводящие установки. Л.: Судостроение, 1990.
9. Тепловые и атомные электростанции. Справочник / Под ред. В.А.Григорьева и В.М.Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1982, 1990.
10. Ядерные энергетические установки / Б.Г.Ганчев, Л.Л.Калишевский, Р.С.Демешев и др. Под ред. Н.А.Доллежаля. М.: Энергоатомиздат, 1983, 1990.
11. Стерман Л.С., Тевлин С.А., Шарков А.Т. Тепловые и атомные электрические станции. М.: Энергоиздат, 1982.
12. Трояновский Б.М., Филиппов Г.А., Булкин А.Е. Паровые и газовые турбины атомных электростанций. - М.: Энергоатомиздат 1985.- 256 с., ил.
13. Паровые газовые турбины: Учебник для вузов /М.А.Трубилов, Г.А. Арсеньев, В.В.Фролов и др. Под ред. А.Г.Костюка, В.В.Фролова - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с., ил.
14. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. - М.: Энергия, 1982. - 496 с., ил..
15. Трояновский Б.М. Турбины для атомных электростанций. - М.; Энергия, 1978. - 232 с.
16. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1980,1987.
17. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по тепло-гидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). М.: Энергоатомиздат, 1984,1990.
18. Кокорев Б.В., Фарафонов В.А. Парогенераторы ядерных энергетических установок с жидкометаллическим охлаждением. М.: Энергоатомиздат, 1990.
19. Будов В.М., Фарафонов В.А. Конструирование основного оборудования АЭС. М.: Энергоатомиздат, 1985.
20. Основы теории и методы расчёта ядерных энергетических реакторов: Учеб. пособие для вузов / Г.Г. Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алхутов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 512 с., ил.
21. Фейнберг С.М. и др. Теория ядерных реакторов. - М:АИ,1978. - с. 398.
22. Владимиров В.И. Практические задачи по эксплуатации ядерных реакторов. Изд. 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Атомиздат, 1986. - 304 с., ил.
23. Дементьев Б.А. Кинетика регулирования ядерных реакторов. - М.: ЭАИ, 1986. - с. 272.
24. Конструирование ядерных реакторов: Учебное пособие / Под ред. Н. А. Доллежаля.-М: Энергоиздат, 1982.

25. Коростелев Д.П. Обработка радиоактивных вод и газов на АЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.
26. Мадоян А.А., Власик В.Ф. Вентиляция атомных электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1984.
27. Безопасность ядерных энергетических установок. Учебное пособие для вузов /О.Б. Самойлов, Г.Б. Усынин, А.И. Бахметьев. – М: Энергоиздат, 1989. – 280 с.,ил
28. Острейковский В.А. Эксплуатация атомных станций: Учебник для вузов. – М: Энергоатомиздат, 1999 – 928 с.

ПРИМЕРНЫЕ ВОПРОСЫ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

Дисциплина “ТЕОРИЯ ПЕРЕНОСА НЕЙТРОНОВ”

1. Перечислите основные виды радиоактивного распада и их характеристики.
2. Какие типы ядерных реакций необходимо учитывать в расчетах реакторов.
3. Приведите примеры сечений наиболее важных в физике ядерных реакторов.
4. Дайте классификацию нейтронов встречающихся в ядерном реакторе.
5. Основные особенности сечений поглощения и деления уранового топлива.
6. Классификация реакторов по спектру первичных нейтронов, вызывающих деление, поясните рисунком.
7. Определение основных характеристик спектра нейтронов.
8. Кривая выхода осколков деления (в чем ее важность и как она зависит от энергии нейтрона, вызывающего деление).
9. Дайте оценку теплотворной способности ядерного горючего.
10. Прокомментируйте особенности спектра большого реактора с водяным замедлителем и его изменение от водо-уранового отношения.
11. Вывод элементарного кинетического уравнения и где оно применяется.
12. Какие основные эффекты учитывает формула 4-х сомножителей.
13. Поясните слагаемые уравнения диффузии тепловых нейтронов и какие граничные условия чаще всего используются для его решения.
14. Дайте определение альбедо тепловых нейтронов и пример его определения в диффузионном приближении.
15. Поясните составляющие стационарного уравнения замедления.
16. Особенности спектров на водороде и в тяжелых замедлителях.
17. Запишите уравнение замедления в поглощающей среде через переменную возраста и поясните смысл его слагаемых.
18. Физический смысл и вычисление возраста в простейших случаях.

Дисциплина “ФИЗИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ”

1. Сделайте оценку влияния обогащения топлива на составляющие формулы четырех сомножителей.
2. Критические размеры и распределение потока нейтронов в ЯР в форме неограниченного цилиндра.
3. Записать математическую постановку критической задачи для сферического реактора с бесконечным отражателем, используя метод эффективных граничных условий.
4. Покажите графиком зависимость эффективной добавки отражателя от его толщины и прокомментируйте его.
5. В чем физический смысл эффективного коэффициента размножения.
6. Смысл эффекта Доплера и его роль в обеспечении и оценки безопасности работы реактора.
7. Дайте математическую формулировку критической задачи в возрастном приближении и прокомментируйте ее.
8. В чем суть многогруппового метода.
9. Поясните особенности блокировки в учете размножения на быстрых нейтронах.
10. Поясните особенности блокировки в учете резонансного поглощения.
11. Поясните особенности блокировки в учете использования тепловых нейтронов.
12. Дайте определение интегральной характеристики поглощающего стержня, и как она будет выглядеть для легких и тяжелых стержней.

13. Дайте определение дифференциальной поглощающей стержня, и как она будет выглядеть для легких и тяжелых стержней.
14. Каков принцип выбора эффективности группы компенсирующих стержней.
15. Каков принцип выбора эффективности группы стержней АЗ.
16. Каков принцип выбора эффективности стержней АР.
17. Особенности расчета мощностного эффекта ВВЭР и ВК.
18. Поясните смысл критической концентрации содержания борной кислоты в реакторах с борным регулированием.

Дисциплина “КИНЕТИКА ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ”

1. Дайте определение ценности и эффективной доли запаздывающих нейтронов.
2. Особенности кинетики при положительных и отрицательных реактивностях.
3. Перечислите источники нейтронов в свежем и проработавшем реакторе типа ИРТ-М.
4. Перечислите известные вам единицы реактивности.
5. Записать уравнения выгорания для теплового реактора и пояснить его слагаемые.
6. Записать уравнения шлакования для теплового реактора и пояснить его слагаемые.
7. Основы методики расчета шлакования.
8. Единицы измерения глубины выгорания, приведите примеры максимальной глубины выгорания для разных реакторов.
9. Смысл нептуниевого коэффициента реактивности и его значения.
10. Записать матпостановку задачи отравления теплового реактора ксеноном и пояснить смысл слагаемых.
11. Записать матпостановку задачи отравления теплового реактора самарием и пояснить смысл слагаемых.
12. Особенности влияния на реактивность гомогенного размещения выгорающего поглотителя, пояснить графиком.
13. Особенности влияния на реактивность гетерогенного размещения выгорающего поглотителя, пояснить графиком..
14. В чем суть метода скачка плотности нейтронов и где он применяется.
15. Суть методики экспериментального определения температурного эффекта и температурного коэффициента реактивности.
16. Запишите общий вид уравнений кинетики и поясните физический смысл слагаемых
17. Как найти выражения для равновесной концентрации ^{135}I и ^{135}Xe .
18. Принцип определения кампании топлива.

Дисциплина “ТЕПЛОМАССОБМЕН В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ”

1. Какой вид имеет уравнение подобия при расчете теплоотдачи при свободной конвекции от горизонтальной трубы. Расшифруйте и объясните составляющие.
2. Какой вид имеет уравнение подобия при расчете теплоотдачи при свободной конвекции от вертикальной трубы. Расшифруйте и объясните составляющие.
3. Какой вид имеет уравнение подобия при расчете теплоотдачи при вынужденном обтекании горизонтальной пластины потоком газа. Расшифруйте и объясните составляющие.
4. Какой вид имеет уравнение подобия при расчете теплоотдачи при вынужденном поперечном обтекании труб и пучков труб. Расшифруйте и объясните составляющие.
5. Какой вид имеет уравнение подобия при расчете теплоотдачи при вынужденном течении жидкости в трубах. Расшифруйте и объясните составляющие.
6. В чем состоит различие уравнений подобия при вынужденной и свободной конвекции при расчете теплоотдачи от цилиндра.

7. В чем состоит различие чисел подобия Нуссельта и Био.
8. Какие необходимо выполнять правила при прямом моделировании процессов теплообмена.
9. Чем отличаются методы прямого моделирования процессов теплообмена от метода аналогий.
10. Напишите выражения градиентных законов используемых в задачах теплообмена.
11. Что понимают под уравнением подобия при расчете процессов теплообмена.
12. Перечислите и охарактеризуйте методы экспериментального определения коэффициента теплоотдачи.
13. Поясните методику получения эмпирических уравнений подобия
14. Поясните методику определения коэффициента теплопроводности.
15. Поясните методику определения интегральной степени черноты калориметрическим методом.
16. В чем состоит различие формального и концептуального методов математической постановки инженерных задач теплообмена.

Дисциплина “ЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ”

1. Как классифицируют ядерные реакторы по энергии нейтронов?
2. На нейтронах преимущественно каких энергий работают быстрые реакторы?
3. В виде какой конструкции может быть выполнен водографитовый реактор (корпусного, канального или бассейнового типа) ?
4. В чем принципиальное отличие петлевой компоновки реактора от интегральной?
5. Преимущества и недостатки корпусных реакторов?
6. Преимущества и недостатки канальных реакторов?
7. Изобразите принципиальную конструкцию реактора типа ВВЭР.
8. Изобразите принципиальную конструкцию реактора типа РБМК.
9. Изобразите принципиальную конструкцию реактора типа БН.
10. Ядерные реакторы какого типа используются в отечественной атомной энергетике?
11. Реакторы какого типа имеют наиболее широкое распространение в мировой атомной энергетике?
12. Какие материалы используются в качестве топливных материалов ядерных реакторов?
13. Достоинства и недостатки двуокиси урана как топливного материала.
14. Какие материалы используют для изготовления оболочек ТВЭЛов ядерных реакторов?
15. Какой из легирующих элементов применяется для улучшения механических свойств циркониевых изделий в отечественной ядерной энергетике?
16. Какие материалы используют для изготовления корпусов ядерных энергетических реакторов?
17. Достоинства и недостатки аустенитной нержавеющей стали как конструкционного материала?
18. Расшифруйте состав аустенитной нержавеющей стали типа 0X18H9T.
19. Какие материалы используются в качестве замедлителя в ядерных энергетических реакторах?
20. Область применения графита в реакторной технике.
21. Достоинства и недостатки реакторного графита.
22. Назовите основные элементы конструкции ТВС.
23. Какая форма поперечного сечения ТВС характерна для реакторов с графитовым замедлителем?

24. Какая форма поперечного сечения ТВС характерна для реакторов с легководным замедлителем?
25. Перечислите основные элементы конструкции стержневого твэла.
26. Изобразите схематически стержневой твэл.
27. С какой целью в твэлах с двуокисью урана предусматривается свободный объем?
28. Перечислите основные составляющие энергии деления.
29. Какие из составляющих энергии деления относятся к “локализованной” ?
30. Какие из составляющих энергии деления относятся к “рассеянной” ?
31. Охарактеризуйте основные показатели энергонапряженности.
32. Запишите выражение, связывающее основные показатели энергонапряженности.
33. Дайте определение понятию радиального коэффициента неравномерности.
34. Дайте определение понятию осевого (аксиального) коэффициента неравномерности.
35. Запишите выражение для расчета косинусоидального распределения энерговыделения.
36. Какие мероприятия используют для выравнивания энерговыделения.
37. Какие значения линейной мощности твэлов характерны для отечественных ядерных энергетических реакторов.
38. Запишите основное выражение для расчета тепловой мощности реактора.
39. Запишите выражение для расчета расхода теплоносителя через реактор.
40. Назовите характерные участки теплообмена по длине ТВС кипящего реактора.
41. Изобразите качественно картину распределения основных параметров теплоносителя (температуры, энтальпии, массового паросодержания) по длине ТВС кипящего реактора.
42. Чем ограничена температура на выходе реактора с некипящим теплоносителем?
43. Изобразите качественно картину распределения температуры по радиусу топливной композиции.
44. Запишите выражение, описывающее в общем виде теплообмен в пучках стержней для водяного теплоносителя при турбулентном режиме.
45. Дайте определение понятию кризис теплообмена в ядерном реакторе.
46. От каких факторов зависит коэффициент трения при ламинарном режиме течения?
47. От каких факторов зависит коэффициент трения при турбулентном режиме течения?
48. От каких параметров зависит нивелирная составляющая потерь давления?
49. Общее выражение для расчета потерь давления от трения.
50. Общее выражение для расчета потерь давления на местных сопротивлениях.

Дисциплина “ПАРОГЕНЕРАТОРЫ АЭС”

1. Изобразите и поясните схему генерации пара на АЭС с реактором РБМК.
2. Изобразите и поясните схему генерации пара на АЭС с реактором ВВЭР.
3. Изобразите и поясните схему генерации пара на АЭС с реактором БН.
4. Способы осуществления промежуточного перегрева пара на АЭС.
5. Как классифицируют ПГ АЭС по способу циркуляции рабочего тела в испарителе.
6. Сравнительные достоинства и недостатки парогенераторов с естественной циркуляцией и прямоточных ПГ.
7. Дайте понятие кратности циркуляции.
8. Основные элементы поверхности теплообмена, входящие в самом общем случае в состав ПГ АЭС.
9. Какие способы компенсации разности температурных расширений трубок и корпуса используются в ПГ АЭС. Приведите примеры.
10. Какие способы крепления теплообменных трубок используются в ПГ АЭС. Приведите примеры.
11. Сравнительные достоинства и недостатки корпусных и секционно-модульных ПГ.
12. Достоинства и недостатки воды как теплоносителя ПГ АЭС.

13. Достоинства и недостатки жидкометаллических теплоносителей ПГ АЭС.
14. Достоинства и недостатки газообразных теплоносителей ПГ АЭС.
15. Чем ограничена температура теплоносителя на входе в ПГ.
16. Чем ограничена температура теплоносителя на выходе из ПГ.
17. Изобразите теплотехническую схему и соответствующую QT-диаграмму для прямоточного парогенератора АЭС.
18. Изобразите теплотехническую схему и соответствующую QT-диаграмму для парогенератора АЭС с естественной циркуляцией в испарителе.
19. Изобразите принципиальную конструкцию горизонтального ПГ энергоблока типа ВВЭР.
20. Изобразите принципиальную конструкцию вертикального ПГ энергоблока типа БН.
21. В чем заключается положительный эффект от применения противоточной схемы взаимного движения теплоносителя и рабочего тела?
22. В чем заключается положительный эффект от применения прямоточной схемы взаимного движения теплоносителя и рабочего тела?
23. Назовите характерные участки теплообмена по длине парогенерирующего канала.
24. Дайте определение понятию “участок ухудшенного теплообмена”.
25. Дайте определение понятию “участок поверхностного кипения”.
26. Дайте определение понятию “кризис теплообмена 1-го рода”.
27. Дайте определение понятию “кризис теплообмена 2-го рода”.
28. Изобразите картину изменения характерных температур (стенки, рабочего тела) по длине парогенерирующего канала.
29. Изобразите качественно картину распределения температуры по радиусу трубки поверхности теплообмена в самом общем случае.
30. Дайте определение понятию “контур естественной циркуляции”.
31. Дайте определение понятию “движущий напор”.
32. Иллюстрируйте графически решение уравнения циркуляции.
33. Дайте определение понятию “барботаж”.
34. Основные режимы течения двухфазных потоков.
35. Какие скорости двухфазной смеси называют действительными?
36. Какие скорости двухфазной смеси называют приведенными?
37. Дайте определение понятию “истинное объемное паросодержание”.
38. Дайте определение понятию “относительная энтальпия”.
39. Что называют тепловой разверкой?
40. Перечислите практические мероприятия, используемые для предотвращения тепловой разверки.
41. Дайте определение понятию “гидродинамическая характеристика”.
42. Какую гидродинамическую характеристику называют неоднозначной?
43. Требования, предъявляемые к качеству пара, вырабатываемому ПГ АЭС.
44. Какой способ сепарации называют гравитационным?
45. От каких факторов зависит эффективность гравитационной сепарации?
46. С помощью каких устройств осуществляется вынужденная сепарация?
47. От каких факторов зависит эффективность жалюзийных сепараторов?
48. Конструкция и принцип действия жалюзийного сепаратора.
49. Конструкции и принцип действия центробежного сепаратора.
50. Содержание каких примесей нормируется в продувочной воде парогенераторов ВВЭР.
51. Что называют продувкой ПГ?

Дисциплина “ТУРБОМАШИНЫ АЭС”

1. Принципиальная конструкция паровой турбины. Основные элементы и их назначение.

2. Понятие о турбинной ступени. Основные элементы и их назначение.
3. Уравнение неразрывности для одномерного потока.
4. Уравнение количества движения для одномерного потока.
5. Уравнение сохранения энергии для одномерного потока.
6. Типы сопел.
7. Газодинамические и режимные параметры турбинных решеток.
8. Понятие о критическом режиме течения, критическая скорость.
9. Критическое отношение давлений. Критический расход. Роль критического отношения давлений при выборе типа сопел.
10. Переменный режим суживающихся сопел. Сетка относительных расходов для суживающихся сопел.
11. Степень реактивности. Классификация ступеней в зависимости от степени реактивности.
12. Треугольники скоростей турбинной ступени.
13. Треугольники скоростей в ступени для паровой фазы и для капель.
14. Потери в соплах. Физический смысл. Формула для расчета.
15. Потеря на рабочих лопатках ступени. Физический смысл. Формула для расчета.
16. Потеря с выходной скоростью. Физический смысл. Формула для расчета.
17. Потеря от влажности в турбинной ступени. Физический смысл. Простейшая формула для оценки.
18. Причины, вызывающие увеличение потерь энергии в турбинных решетках при течении влажного пара.
19. Потеря от утечек в проточной части ступени. Физическая картина.
20. Потеря на трение диска в паре. Физическая сущность.
21. Работа лабиринтового уплотнения: физическая картина, изображение процесса в h_s -диаграмме.
22. Потеря на выколачивание. Физический смысл. Понятие о степени парциальности турбинной ступени.
23. Относительный лопаточный КПД турбинной ступени. Физический смысл. Формула для вычисления.
24. Относительный внутренний КПД турбинной ступени. Физический смысл. Формула для вычисления.
25. Оценка КПД ступени при отклонении от расчетного режима.
26. Изображение в h_s -диаграмме процесса расширения влажного пара в реактивной ступени.
27. Изображение в h_s диаграмме процесса расширения пара в чисто активной ступени.
28. Понятие эрозии. Факторы, влияющие на эрозию.
29. Влияние эрозии на экономичность и надежность паровой турбины. Методы борьбы с эрозией.
30. Основные преимущества многоступенчатых турбин.
31. Схема проточной части многоступенчатой турбины, графики изменения давления, абсолютной скорости пара вдоль проточной части.
32. Изображение в h_s диаграмме теплового процесса расширения пара в многоступенчатой турбине.
33. Факторы, влияющие на выбор частоты вращения ротора у турбин влажного пара АЭС.
34. Понятие о предельной мощности паровых турбин. Факторы, влияющие на ее величину.
35. Осевые усилия в многоступенчатых турбинах и методы их уменьшения.
36. Универсальная кривая паровой турбины.
37. Понятие о номинальной, максимальной и экономической мощностях конденсационных турбин.
38. Дроссельное парораспределение паровых турбин. Достоинства и недостатки.
39. Сопловое парораспределение паровых турбин. Достоинства и недостатки.
40. Изменение давления в ступенях при изменении расхода пара на турбину (дозвуковой и сверхзвуковой режимы течения).

41. Виды защит паровых турбин. Роль защит в обеспечении надежной работы турбоустановки.
42. Назначение системы маслоснабжения паровой турбины. Ее основные элементы.
43. Назначение системы регулирования паровой турбины. Ее основные элементы.
44. Статическая характеристика регулирования.
45. Энергетическая характеристика турбины.

Дисциплина “НАГНЕТАТЕЛИ АЭС”

1. Работа насоса на сеть. Условия совместной работы. Ответ иллюстрируйте рис.
2. Дайте определение понятию кавитации центробежного насоса. Перечислите пути предотвращения кавитации.
3. Изобразите схему рабочего колеса центробежного насоса. Охарактеризуйте его основные геометрические характеристики.
4. Изобразите один из треугольников скоростей (входной или выходной) в рабочем колесе центробежного насоса. Расшифруйте характерные скорости и углы.
5. Гидравлический КПД. Физический смысл. Факторы, определяющие гидравлический КПД.
6. Объемный КПД. Физический смысл. Факторы, определяющие объемный КПД.
7. Запишите уравнение Эйлера для определения теоретического напора центробежного насоса и поясните физический смысл составляющих.
8. Параллельная работа насосов. Цель. Иллюстрируйте ответ рисунком $H = f(Q)$ для группы насосов. Графический и аналитический методы определения рабочей точки.
9. Группа последовательно включенных насосов. Цель. Иллюстрируйте ответ рисунком $H = f(Q)$ для группы насосов. Графический и аналитический методы определения рабочей точки.
10. Принцип дроссельного регулирования насоса. Иллюстрируйте ответ рисунком $H = f(Q)$. Практическая реализация. Достоинства и недостатки.
11. Принцип регулирования насоса изменением частоты вращения. Иллюстрируйте ответ рисунком $H = f(Q)$. Достоинства и недостатки. Практическая реализация.

Дисциплина “АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ”

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ. ЭКОНОМИЧНОСТЬ.

1. Принципиальная схема паротурбинной установки.
2. Термический КПД цикла; физический смысл, формулы для вычисления.
3. Относительный и абсолютный внутренний КПД паровой турбин: физический смысл, формулы для вычисления.
4. Механический КПД турбины. Относительный и абсолютный эффективные КПД.
5. Относительный и абсолютный электрические КПД турбогенераторной установки: физический смысл, формулы для вычисления.
6. КПД энергоблока одноконтурной и двухконтурной АЭС: физический смысл, формулы для вычисления.
7. Энергетическое уравнение турбины (формула для вычисления электрической мощности ПТУ).
8. Факторы, влияющие на выбор начального давления (давления пара перед турбиной) влажнопаровых турбин.
9. Влияние на экономичность ПТУ начальной температуры. Анализ иллюстрируйте рис. в TS-диаграмме.

10. Влияние на экономичность влажнопаровых ПТУ начальное давление. Анализ иллюстрируйте рис. в TS-диаграмме.
11. Влияние начальной влажности на экономичность и надежность паровых турбин.
12. Факторы, влияющие на выбор давления в конденсаторе турбин АЭС.
13. Внешняя сепарация в ПТУ АЭС: необходимость, схема простейшей установки, цикл в TS-диаграмме.
14. Факторы, влияющие на выбор давления в сепараторе ПТУ АЭС.
15. Применение внешней сепарации с одноступенчатым промпрегревом свежим паром: схема установки, цикл в диаграмме TS-диаграмме.

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДОГРЕВ ВОДЫ

16. Понятие о регенеративном подогреве питательной воды. Схема простейшей ПТУ с одним регенеративным подогревателем.
17. Понятие о “предельном” и “теоретическом” регенеративных циклах?
18. Типы регенеративных подогревателей. Их сравнительные достоинства и недостатки.
19. Понятие недогрев воды в поверхностном регенеративном подогревателе. Факторы, определяющие недогрев при эксплуатации.
20. Тепловой баланс и тепловая диаграмма поверхностного подогревателя.
21. Тепловой и материальный балансы смешивающего подогревателя.
22. Как влияет на выбор оптимальных значений недогрева стоимость топлива и материала поверхности нагрева поверхностного регенеративного подогревателя?
23. Дать определение термодинамически оптимальной температуре питательной воды.
24. Дать определение экономически оптимальной температуре питательной воды.
25. Как тепловая экономичность регенеративного цикла зависит от числа ступеней регенеративного подогрева и температуры питательной воды? Качественная зависимость.
26. Назначение и принципиальная схема включения охладителей дренажа.
27. Схемы слива дренажей регенеративных подогревателей. Какая из схем соответствует наибольшей тепловой экономичности?
28. Основные схемы включения смешивающих регенеративных подогревателей.
29. Какие регенеративные подогреватели называют подогревателями низкого давления, а какие - высокого?
30. Почему в регенеративных подогревателях необходимо иметь большее давление воды по сравнению с греющим паром?
31. Чем опасны отклонения уровня конденсата греющего пара в поверхностных подогревателях от нормального?
32. Почему в тепловых схемах одноконтурных АЭС часто отсутствуют ПВД?
33. Какая арматура устанавливается на линии отборного пара на регенеративный подогреватель?
34. Изобразите схематически конструкцию регенеративного подогревателя высокого давления.
35. Изобразите схематически конструкцию регенеративного подогревателя низкого давления

ДЕАЭРАЦИОННО-ПИТАТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

36. Пути попадания коррозионно-активных газов в замкнутый контур паротурбинной установки АЭС?
37. Какие газообразные примеси и почему необходимо удалять из питательной воды в первую очередь?
38. Что называют термической деаэрацией питательной воды?
39. Какие функции выполняет деаэратор питательной воды на АЭС, кроме удаления коррозионно-агрессивных газов?
40. Принцип действия термического деаэрата (законы Генри и Дальтона).
41. Изобразите схематически конструкцию термического деаэрата питательной воды.
42. Охарактеризуйте основные схемы включения деаэраторов питательной воды.

43. Основные условия эффективной деаэрации питательной воды?
44. Какими регуляторами оснащают деаэраторы питательной воды?
45. Какие схемы привода питательных установок используются на современных АЭС?
46. Сравнительные достоинства и недостатки одно- и двухподъемных схем включения питательных установок.
47. Назначение бустерных (предвключенных) насосов.
48. Какие насосы используются на АЭС в качестве питательных?

КОНДЕНСАЦИОННАЯ УСТАНОВКА. ТЕХВОДОСНАБЖЕНИЕ

49. Основной потребитель технической воды на АЭС. Типы систем технического водоснабжения на АЭС.
50. Основные достоинства и недостатки прямоточной системы техводоснабжения.
51. Основные достоинства и недостатки оборотной системы техводоснабжения с прудами-охладителями.
52. Основные достоинства и недостатки оборотных систем техводоснабжения с градирнями.
53. Функции, выполняемые конденсаторами на АЭС.
54. Схема конденсационной установки. Основные элементы и их назначение
55. Конструктивная схема поверхностного конденсатора современной ПТУ.
56. Как влияет давление в конденсаторе на экономичность и надежность паротурбинной установки АЭС?
57. Объясните, в результате чего в конденсаторе возникает давление значительно ниже атмосферного.
58. Назовите факторы, влияющие на температуру насыщения в конденсаторе.
59. Что называют кратностью охлаждения в конденсаторе?
60. Главное назначение эжектора как элемента конденсационной установки.
61. Работа пароструйного эжектора.
62. Материала, используемые для конденсаторных трубок. Их сравнительные достоинства и недостатки.

ОТПУСК ТЕПЛА

63. Дайте определение понятию “теплофикация”.
64. Что называют “температурным графиком теплосети”. Изобразите его качественно.
65. Что называют “коэффициентом теплофикации”?
66. Основной способ регулирования температуры прямой сетевой воды на современных АЭС.
67. Принципиальное различие схем отпуска тепла внешним потребителям у одно- и двухконтурных АЭС.
68. Запишите уравнение для расчета расхода сетевой воды.
69. Изобразите принципиальную конструкцию сетевого подогревателя.

СИСТЕМА КОМПЕНСАЦИИ ДАВЛЕНИЯ

70. Назначение и состав системы компенсации давления.
71. Какого типа компенсаторы давления используют на современных АЭС с реакторами ВВЭР?
72. Опишите алгоритма работы системы компенсации давления при росте давления в ГЦК.
73. Назначение барботера в системе компенсации давления.

Дисциплина “ ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА АЭС ”

1. Схема влияния эксплуатации АЭС на окружающую среду.
2. Основные принципы НРБ. Условие оправданного риска.
3. Нормирование жидких и газоаэрозольных радиоактивных отходов.
4. Расчет допустимых концентраций.
5. Определение предельно допустимых выбросов и допустимых сбросов.
6. Образование газоаэрозольных отходов на АЭС.

7. Характеристика газоаэрозольного выброса АЭС.
8. Способы снижения активности РБГ.
9. Газгольдеры на АЭС. Назначение, устройство, расчет.
10. Радиохроматографический способ очистки газов.
11. Процессы в адсорбционной системе.
12. Уравнения равновесной динамики сорбции одного вещества.
13. Режимы работы угольной колонны.
14. Режим вечной работы колонны.
15. Эффективность очистки угольной колонной. Способы повышения эффективности очистки.
16. Радиохроматографические системы на АЭС с ВВЭР и РБМК.
17. Схема угольной системы очистки для реактора на быстрых нейтронах.
18. Очистка технологических газов от изотопов йода и аэрозолей.
19. Пути совершенствования систем очистки технологических газов АЭС.
20. Ступенчатая система организации вентиляции.
21. Типы вентиляционных систем АЭС.
22. Газоочистка в системах вентиляции.
23. Фильтры тонкой и грубой очистки.
24. Схема обработки и удаления газообразных отходов на АЭС.
25. Турбулентная диффузия примесей в атмосферном воздухе.
26. Практическое решение задачи рассеивания примесей в атмосферном воздухе.
27. Строение атмосферы и форма факела выброса.
28. Обращение с жидкими РАО на АЭС. Концептуальные основы.
29. Переработка и кондиционирование жидких радиоактивных отходов.
30. Отверждение жидких радиоактивных отходов на АЭС.
31. Характеристики твердых радиоактивных отходов.
32. Обращение с твердыми радиоактивными отходами.
33. Хранение отходов на АЭС. Хранилища.
34. Захоронение РАО.
35. Радиационный мониторинг.
36. Снижение теплового загрязнения окружающей среды на АЭС.
37. Меры снижения шума на АЭС.