

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Ивановский государственный энергетический университет  
имени В.И. Ленина»



УТВЕРЖАЮ  
Проректор по НР

В.В. Тютиков

2014 г.

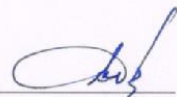
**ПРОГРАММА**  
вступительного экзамена по специальной дисциплине  
для направления подготовки высшего образования - подготовка кадров  
высшей квалификации по программам подготовки  
научно-педагогических кадров в аспирантуре  
14.06.01 Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика  
и сопутствующие технологии

Иваново 2014

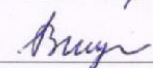
Программа составлена в соответствии с требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям подготовки 140403 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг (специалитет), 140400 Электроэнергетика и электротехника (магистратура), 140100 Теплоэнергетика и теплотехника (магистратура).

Программу составили:

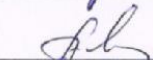
к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой ЭСПиДЭ

  
\_\_\_\_\_ А.В. Гусенков

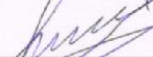
д.т.н., профессор,  
профессор кафедры АУЭС

  
\_\_\_\_\_ В.А. Шуин

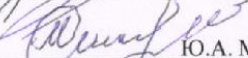
к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой ЭС

  
\_\_\_\_\_ А.Ю. Мурзин


к.т.н., доцент,  
заведующий кафедрой ВЭТФ

  
\_\_\_\_\_ В.Ф. Воробьев

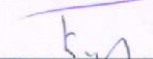
д.т.н., профессор,  
профессор кафедры ВЭТФ

  
\_\_\_\_\_ Ю.А. Митькин


к.т.н., доцент,  
доцент кафедры АЭС

  
\_\_\_\_\_ А.Г. Ильченко

д.т.н., профессор,  
заведующий кафедрой ТОТ

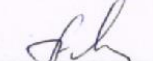
  
\_\_\_\_\_ В.В. Бухмиров

д.т.н., профессор,  
заведующий кафедрой ТЭС

  
\_\_\_\_\_ Е.В. Барочкин

Программа одобрена на заседании кафедры ЭС

Протокол № 6 от « 21 » 03 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ А.Ю. Мурзин

Программа одобрена на заседании кафедры ЭСПиДЭ

Протокол № 5 от « 5 » 03 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ А.В. Гусенков


Программа одобрена на заседании кафедры АУЭС

Протокол № 6 от « 24 » сентября 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ В.Д. Лебедев

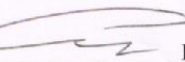
Программа одобрена на заседании кафедры ВЭТФ

Протокол № 7 от « 24 » марта 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ В.Ф. Воробьев

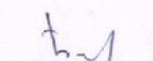
Программа одобрена на заседании кафедры АЭС

Протокол № 7 от « 24 » 03 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ В.А. Горбунов

Программа одобрена на заседании кафедры ТОТ

Протокол № 6 от « 6 » 03 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ В.В. Бухмиров

Программа одобрена на заседании кафедры ТЭС

Протокол № 10 от « 21 » 02 2014 г.  
Зав. кафедрой

  
\_\_\_\_\_ Е.В. Барочкин

## **ВВЕДЕНИЕ**

Целью вступительного экзамена по специальной дисциплине по направлению 14.06.01 «Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии» является выявить готовность претендента к освоению учебного плана аспирантской подготовки и его способность оперировать базовыми понятиями и закономерностями основополагающих дисциплин учебного плана при самостоятельной научно-исследовательской работе.

К вступительным экзаменам в аспирантуру допускаются лица, имеющие высшее образование и закончившие специалитет или магистратуру.

### **1 ПРОЦЕДУРА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА**

Экзамен проводится экзаменационной комиссией, утвержденной приказом ректора ИГЭУ, по билетам, составленным на основе вопросов, приведенных в п. 3 программы. Форма экзамена – письменно-устная. Итоговое устное собеседование проводится по результатам представленного письменного ответа испытуемого.

Общая продолжительность экзамена не должна превышать 3 часа, продолжительность устной части ответа – не более 30 минут.

На вступительных испытаниях должна быть обеспечена спокойная и доброжелательная обстановка и предоставлена возможность испытуемому наиболее полно проявить уровень своих знаний, умений и навыков. На экзамене разрешается пользоваться справочными материалами.

Уровень знаний испытуемого оценивается комиссией по пятибалльной системе. Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы из билета и дополнительно заданные экзаменаторами вопросы. На каждого испытуемого ведется отдельный протокол.

Протоколы приема вступительных испытаний после утверждения хранятся в личном деле поступающего.

Решение экзаменационной комиссии размещается на официальном сайте и на информационном стенде приемной комиссии не позднее трех дней с момента проведения вступительного испытания.

## 2 СОДЕРЖАНИЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

### 2.1 Профиль «Электрические станции и электроэнергетические системы»

#### 2.1.1 Электрическая часть электростанций

Сущность технологического процесса функционирования электрических станций различного типа. Вопросы экологии при проектировании и эксплуатации электростанций.

Графики нагрузки электрических станций и их регулирование. Влияние роста единичной мощности генераторов, силовых трансформаторов, электродвигателей и электростанций в целом на построение схем электрических соединений электростанций и требования к электрическим аппаратам и проводникам.

Структуры главных схем и схем собственных нужд электростанций различного типа. Термическое и динамическое воздействие токов короткого замыкания. Методы и средства ограничения токов короткого замыкания. Координация уровней токов короткого замыкания. Эксплуатационные характеристики аппаратов, методика их выбора. Эксплуатационные характеристики и конструктивные особенности токоведущих элементов и контактных соединений, методика их выбора.

Заземляющие устройства электроустановок.

Системы управления, контроля и сигнализации на электростанциях и подстанциях. Установки оперативного тока. Принципы выполнения и основные характеристики автоматизированных систем управления (АСУ). Принципы создания автоматизированных диагностических систем.

Режимы работы синхронных генераторов, синхронных компенсаторов, синхронных двигателей и их систем возбуждения. Методика анализа надежности и режимов работы синхронных машин.

Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей собственных нужд электростанций в нормальных и аномальных условиях. Режимы работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов на электростанциях и подстанциях.

Основы проектирования электростанций. Состав и основные характеристики систем автоматизированного проектирования (САПР) электрических установок.

Проектирование главной электрической схемы. Проектирование электроустановок собственных нужд. Проектирование системы управления.

Конструкция распределительных устройств. Основные характеристики комплектных распределительных устройств (КРУ и КРУЭ). Компоновка электрических станций и подстанций.

Методы оценки технико-экономических показателей и надежности и оборудования схем электрических соединений электроустановок.

#### 2.1.2 Электроэнергетические системы и сети

Основные сведения об истории развития энергетики. Особенности развития энергетики в условиях рыночной экономики. Энергетика, как большая система.

Модели оптимального развития энергосистем. Системный подход. Общий критерий оптимального развития. Виды представления информации. Иерархическое построение энергосистем. Основные типы задач развития энергосистем. Методы прогнозирования их развития.

Особенности оптимизации структуры энергосистемы при ее проектировании и развитии (структура и размещение электростанций, структура электрических сетей).

Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: методы линейного и нелинейного математического программирования, транспортный и симплексный алгоритмы, динамическое программирование, метод границ и ветвей, градиентный метод, метод штрафных функций, критериальный анализ технико-экономических задач энергетики.

Электрические станции, электрические сети, потребители электроэнергии, как элементы энергосистем. Методы определения расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства.

Сведения об условиях работы и конструктивном выполнении линий электрических сетей. Основные сведения о проектировании конструктивной части воздушных линий.

Режимы заземления нейтралей в сетях различного напряжения.

Характеристики и параметры элементов электрической сети.

Элементы теории передачи энергии по линиям электрической сети. Расчеты установленных режимов электрических сетей, требования к режимам. Регулирование режимов электрических сетей.

Основы технико-экономических расчетов электрических сетей. Качество электрической энергии. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах, районных электрических сетях и системах электроснабжения.

Основы проектирования электрических сетей, выбор основных параметров электрических сетей при проектировании.

Особенности расчетов электрических режимов протяженных электропередач переменного и постоянного тока. Электрические параметры протяженных электропередач. Расчет режимов дальней электропередачи. Пути, методы и средства увеличения пропускной способности и экономичности работы дальних электропередач. Особые режимы электропередач переменного и постоянного тока.

### 2.1.3 Электроснабжение городов и промышленных предприятий

Общая характеристика систем электроснабжения. Общее и различия в структурах систем электроснабжения городов и промышленных предприятий. Теоретические основы формирования расчетной нагрузки элементов сети. Разница в подходах к формированию расчетной нагрузки в городской сети и сети промышленного предприятия.

Компенсация реактивных нагрузок. Обоснование различий в решении проблемы компенсации реактивных нагрузок в городах и на промышленных предприятиях. Теоретические основы принципа размещения компенсирующих устройств в распределительных сетях промышленных предприятий.

Режим нейтрали в сетях до 1 кВ и выше 1 кВ. Причины нормирования однофазных токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.

Требования к электрическим схемам распределительных сетей. Характеристика схем различных типов с точки зрения загрузки оборудования. Влияние изолированного заземления нейтрали на надежность электроснабжения для различных типов схем. Обоснование необходимости глубоких вводов в городах и на промышленных предприятиях. Комплекс требований к сооружению подстанций глубокого ввода. Особенности конструктивного выполнения подстанций. Встроенные подстанции, обоснование необходимости их применения и требования к конструкции.

Потери электроэнергии в распределительных сетях, структура потерь. Применение различных методов расчета потерь в зависимости от исходных данных. Методы и средства снижения потерь электроэнергии.

Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Причины искажений токов и напряжений в распределительных сетях и влияние этих искажений на работу электроприемников. Методы расчета нормируемых показателей качества электроэнергии. Методы и средства обеспечения показателей качества электроэнергии.

### 2.1.4 Переходные процессы в электроэнергетических системах

Причины, вызывающие переходные процессы в электроэнергетических системах (ЭЭС). Основные соображения о физической природе и об анализе переходных процессов в

ЭЭС. Основные характеристики элементов ЭЭС и их математические модели, используемые при исследовании переходных процессов.

Виды возмущений, вызывающих переходные процессы в ЭЭС. Их отражение в схемах замещения ЭЭС, в том числе: короткие замыкания, сложные виды повреждений. Составление схем замещения для расчетов, применяемые допущения.

Практические методы расчета токов короткого замыкания.

Особенности расчета токов короткого замыкания в электроустановках переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В.

Общие уравнения, описывающие переходные процессы в электрических машинах. Преобразования координат.

Переходные процессы при коротких замыканиях в сетях, содержащих длинные линии, установки продольной компенсации, линейные, и нелинейные регулирующие элементы.

Современная теория устойчивости. Понятие о первом и втором (прямом) методах Ляпунова. Практические критерии статической устойчивости. Упрощенные критерии динамической и результирующей устойчивости в простейшей ЭЭС. Протекание процесса во времени при больших и малых возмущениях.

Исследование статической устойчивости простейшей нерегулируемой ЭЭС методом малых колебаний. Статическая устойчивость системы с регулируемым возбуждением.

Переходные процессы в узлах нагрузки при малых и больших возмущениях.

Характеристики многомашинной ЭЭС. Устойчивость нормальных режимов сложных систем. Изменение частоты и мощности в ЭЭС.

Динамическая устойчивость ЭЭС. Переходные процессы и устойчивость систем, объединенных слабыми связями. Асинхронные режимы, ресинхронизация и результирующая устойчивость.

Методические и нормативные указания по анализу переходных процессов и устойчивости ЭЭС. Мероприятия по улучшению устойчивости и качества переходных процессов в ЭЭС.

#### 2.1.5 Релейная защита, автоматизация, автоматическое управление электроэнергетических систем

Повреждения и ненормальные режимы работы энергетических систем.

Задачи и алгоритмы управления энергетической системой и ее элементами. Программно-технические комплексы автоматических и автоматизированных систем управления. Иерархические структуры систем управления. Терминалы релейной защиты и противоаварийной автоматики. Ближнее и дальнее резервирование. Работа при разных видах повреждений. Локальные и распределенные системы противоаварийной автоматики.

Сбор, передача и отображение оперативной и аварийной информации. Первичные и вторичные измерительные преобразователи электрических величин. Цепи вторичной коммутации энергетических объектов. Каналы межобъектовой связи. Способы обеспечения помехоустойчивости.

Способы и средства определения электромагнитной обстановки и обеспечения электромагнитной совместимости средств управления на электроэнергетических объектах. Критерии оценки и способы обеспечения надежности функционирования систем релейной защиты и средств противоаварийной автоматики. Системы оперативного тока.

Релейная защита синхронных генераторов, трансформаторов, двигателей, шин, воздушных и кабельных линий электропередачи с различными способами заземления нейтрали. Принципы построения и взаимодействие комплектов защиты.

Системы релейной защиты и противоаварийной автоматики.

Автоматические переключения в электроэнергетических системах (ввод резерва, повторное включение, частотная разгрузка, балансирующие отключения).

Автоматическое регулирование напряжения и распределение реактивной мощности. Регуляторы возбуждения и коэффициента трансформации.

Автоматическое регулирование частоты и распределение активной мощности. Регуляторы частоты вращения.

Методы и средства определения мест повреждений в сетях воздушных и кабельных линий электропередачи.

Системы сигнализации, регистрации и цифрового осциллографирования.

Моделирование функционирования и испытания устройств и систем управления.

#### 2.1.6 Применение теории вероятностей, теории подобия и вычислительной техники к анализу режимов работы электростанций, сетей и систем

Случайные события и случайные величины в электроэнергетике, их применение в расчетах надежности схем электрических соединений. Применение математической статистики и методов обработки статистических данных по показателям надежности элементов, параметрам режимов, электрическим нагрузкам.

Понятия и методы расчета интегральных характеристик режимов в сложных электроэнергетических системах. Интегральные критерии качества электроэнергии, их применение в практике эксплуатации электроэнергетических систем.

Случайные процессы при моделировании режимов и состояний в электроэнергетике. Понятие о простейшем стационарном процессе, моделирования процессов отказов и восстановлений элементов и схем в электроэнергетике.

Элементы теории массового обслуживания, метод статистических испытаний «Монте-Карло», их применение для решения энергетических задач.

Общий обзор проблемы моделирования, основы теории подобия. Полное и неполное подобие. Точность подобия. Практические критерии подобия различных явлений, изучаемых в технике. Подобие электрических цепей.

Кибернетическое моделирование. Приближенное моделирование. Методы обработки результатов экспериментов, планирование экспериментов.

Физическое и аналоговое моделирование процессов в электроэнергетических системах. Расчетные модели, аналоговые модели, физические или динамические модели электроэнергетических систем.

Расчеты режимов работы электростанций, сетей и систем с применением ПК. Области применения и возможности ПК при анализе режимов работы ЭЭС.

Основные алгоритмы расчетов режимов работы и устойчивости ЭЭС с применением ПК.

#### 2.1.7 АСУ и оптимизация режимов работы электроэнергетических систем

Основные задачи АСУ в электроэнергетике. Структуры систем автоматического управления ЭЭС и ее элементов.

Противоаварийное управление, его задачи и способы реализации.

Основные задачи и способы диспетчерского управления.

Методы оптимизации режимов работы ЭЭС. Связь проблемы регулирования частоты с проблемой оптимального распределения нагрузок между электростанциями.

Проблемы межсистемных и межгосударственных связей в больших ЭЭС.

## **2.2 Профиль «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»**

### 2.2.1 Атомные станции

Тепловые процессы на АЭС. Термодинамические циклы АЭС. Системы и оборудование АЭС. Тепловая экономичность АЭС.

### 2.2.2 Ядерные реакторы

Физика и кинетика ядерных реакторов. Конструкции ядерных реакторов. Температурное поле в ядерном реакторе. Гидродинамика и теплообмен в ядерных реакторах. Режимы работы ядерных реакторов.

### 2.2.3 Надежность и безопасность АЭС

Основные принципы обеспечения безопасности АЭС. Надежность работы оборудования АЭС. Вероятностный анализ безопасности. Аварийные процессы на АЭС. Культура безопасности на АЭС.

### 2.2.4 Режимы работы и эксплуатация АЭС

Работа АЭС в энергосистемах. Основные режимы работы АЭС. Эксплуатация оборудования АЭС. Пуск и останов энергоблоков АЭС. Эксплуатация ядерного топлива. Обращение с радиоактивными отходами и их переработка.

### 2.2.5 Радиационная безопасность на АЭС:

Защита от ионизирующих излучений. Дозиметрия и радиационная безопасность на АЭС.

## 2.3 Профиль «Промышленная теплоэнергетика»

### 2.3.1 Математическое моделирование тепломассообменных процессов

Понятие математической модели. Классификация математических моделей. Характеристика детерминированных и функциональных математических моделей.

Технология создания математических моделей. Физическое или концептуальное моделирование. Математическая формулировка задачи. Методы и алгоритмы решения. Программная реализация математических моделей. Проверка адекватности математических моделей. Вычислительный эксперимент с математической моделью.

Математическое моделирование процесса теплопроводности. Прямые и обратные задачи теории теплопроводности. Особенности математического моделирования конвективного теплообмена. Математическое моделирование радиационного теплообмена.

Методы решения задач тепломассообмена. Их классификация. Расчетные и экспериментальные методы. Методы теории подобия и метод аналогий. Аналитические и численные методы решения задач тепломассообмена. Численно-аналитические методы.

Метод сеток решения дифференциальных уравнений параболического и эллиптического типа в частных производных. Идея метода. Разностная схема. Понятие консервативности, устойчивости, аппроксимации и сходимости. Явные и неявные разностные схемы. Оценка точности разностных схем.

Современные языки программирования. Базы данных. Экспертные системы. Организация ввода и вывода данных. Оценка качества программного продукта.

Адаптация математических моделей. Настраиваемые коэффициенты. Способы проверки адекватности математических моделей.

Особенности построения математических моделей для управления и проектирования.

### 2.3.2 Теоретические основы теплотехники

#### 1) Техническая термодинамика

Термодинамика и ее метод. Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамические параметры состояния: термические (удельный объем, давление и абсолютная температура) и калорические (внутренняя энергия и энтальпия). Интенсивные и экстенсивные параметры.



Энергетические (калорические) параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Термодинамический процесс. Рабочее тело. Связь между параметрами и функциями состояния. Энергетические уравнения состояния. Термические уравнения состояния идеальных и реальных газов.

Первый закон термодинамики для изолированной и неизолированной системы. Обобщенная работа. Работа изменения объема. Рабочая ( $p-v$ ) – диаграмма. Теплота. Тепловая координата – энтропия. Тепловая ( $T-s$ ) – диаграмма. Энтальпийная форма записи первого начала термодинамики.

Теплоемкость. Расчет теплоты и изменения энтропии.

Термодинамика газов. Уравнение состояния идеального газа. Свойства идеальных газов. Основные термодинамические процессы изменения идеальных газов.

Термодинамика паров. Основные понятия и определения. ( $p-v$ ) и ( $T-s$ ) диаграммы водяного пара.

Классификация тепловых машин. Условия работы тепловых машин. Прямой и обратный циклы Карно. Второе начало термодинамики.

## 2) Тепломассообмен

Предмет тепломассообмена. Виды теплообмена и их характеристики. Теплоотдача и теплопередача. Температурное поле. Изотермическая поверхность. Количество теплоты. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Линейная плотность теплового потока. Объемная плотность тепловыделений. Градиент температуры.

Основной закон теории теплопроводности постулат Фурье. Линейная и нелинейная форма записи. Энтальпийная форма записи. Коэффициент теплопроводности. Коэффициент температуропроводности

Дифференциальные уравнения теплопроводности. Вывод уравнения для изохорного и изобарного процессов теплообмена. Частные случаи записи дифференциального уравнения теплопроводности. Условия однозначности для решения дифференциального уравнения теплопроводности.

Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности. Аналитические решения дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях I, II и III рода. Режимы нагрева (охлаждения) твердых тел.

Графическое представление аналитического решения дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях 3-го рода (номограммы Д.В. Будрина). Расчеты температурных полей тел сложной формы при граничных условиях 3-го рода.

Стационарная теплопередача. Передача теплоты через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки при граничных условиях 1-го и 3-го родов. Критический диаметр цилиндрической и шаровой стенки.

Основные понятия и определения. Дифференциальное уравнение энергии движущейся среды. Уравнение движения среды (уравнения Навье - Стокса) и неразрывности. Условия однозначности при решении дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

Основы теории подобия. Закон конвективной теплоотдачи. Закон Ньютона - Рихмана. Правила и требования теории подобия. Теорема Кирпичева - Гухмана.

Определяемые критерии подобия. Дифференциальные уравнения конвективной теплоотдачи. Вывод критериев Нуссельта и б/р температуры приведением дифференциального уравнения конвективной теплоотдачи к б/р виду. Критерий Стентона.

Определяющие критерии подобия. Вывод критериев гомохронности, Фруда, Галлилея, Архимеда, Грасгофа, Эйлера, Рейнольдса, Рэлея Пекле. Критерий Прандтля.

Уравнения подобия. Моделирование процессов конвективного теплообмена. Получение эмпирических формул. Определяющие размер и температура.

Теплообмен при конденсации. Основные понятия и определения. Критерий Рейнольдса при конденсации. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной поверхности. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на

наклонной поверхности и горизонтальной трубе. Конденсации в трубных пучках. Факторы, влияющие на теплообмен при конденсации

Теплообмен при кипении. Физические особенности процесса кипения. Кривая кипения. Расчетные зависимости для теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объеме. Пленочное кипение жидкости. Кризисы кипения.

Классификация теплообменников. Виды расчетов теплообменников. Уравнение теплового баланса теплообменника. Понятие водяного эквивалента. Уравнение теплопередачи. Изменение температуры теплоносителей вдоль поверхности нагрева. Средняя разность температур.

Тепловой конструктивный и тепловой поверочный расчеты рекуперативного теплообменника.

Аналогия процессов теплообмена и массообмена. Эффект Соре. Эффект Дюфо. Закон Фика. Уравнение массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Тройная аналогия.

### 3) Основы термоупругости

Термодинамические основы термоупругости. Постановка задачи термоупругости. Классификация задач термоупругости.

Плоская задача термоупругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Термические напряжения в цилиндре при плоском осесимметричном температурном поле.

## 2.4 Профиль «Техника высоких напряжений»

### 2.4.1 Теория электрических разрядов

Элементарные процессы в газах. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Движение заряженных частиц в газе при наличии электрического поля. Возбуждение и ионизация атомов и молекул. Сечение столкновения, длина пробега. Термическая ионизация. Фотоионизация. Ударная ионизация. Образование и развал отрицательных ионов. Рекомбинация. Диффузия. Основы физики плазмы. Квазинейтральность. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма. Электропроводность плазмы.

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Коэффициент Таунсенда. Условие самостоятельности разряда. Разряд в однородном поле. Законы Пашена и подобия. Разряд в сильно неоднородном поле. Лавинная, стримерная, лидерная формы разряда. Развитие разряда в длинных воздушных промежутках. Зависимость пробивного напряжения от типа воздействующего напряжения, длины промежутка, степени неоднородности электрического поля, параметров окружающей среды. Разброс пробивных напряжений. Статистические параметры разряда. Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальная напряженность и напряжение. Распределение поля при униполярном коронном разряде. Потери на корону при переменном напряжении.

Развитие разряда при импульсных напряжениях. Время разряда. Вольт-секундные характеристики. Разряд в газе по поверхности твердого диэлектрика. Влияние расположения диэлектрика в промежутке. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязненной и увлажненной поверхности. Разряд в газе при повышенном и пониженном давлениях. Высокопрочные и электроотрицательные газы. Механизм вакуумного пробоя.

Проводимость жидких диэлектриков в электрическом поле. Подвижность носителей зарядов. Диссоциация, эмиссия электронов. Ток проводимости. Электропроводность диэлектрических жидкостей в сильных электрических полях. Природа и параметры носителей зарядов. Перераспределение поля в промежутке. Процессы на стадии зажигания разряда. Пространственно-временные закономерности развития разряда. Основные процессы, участвующие в формировании пробоя жидких диэлектриков. Зависимость электрической прочности

жидкостей от основных влияющих факторов - химическая природа и состояние жидкости, параметры воздействующего напряжения, микро – и макро геометрия электродов. Особенности разряда по поверхности твердого диэлектрика в жидкости. Предразрядные процессы и пробой жидкости. Влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости.

Проводимость твердых диэлектриков. Ионная и электронная проводимость. Процессы эмиссии носителей зарядов. Формы пробоя твердых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида воздействующего напряжения, длительности воздействия напряжения. Тепловой пробой твердых диэлектриков. Скользящий разряд по поверхности твердых диэлектриков в жидкости.

#### 2.4.2 Грозовые перенапряжения и защита от них

Электричество атмосферы. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы. Физическая картина разряда молнии. Характеристики разрядов молнии. Интенсивность грозовой деятельности.

Грозозащитные заземления. Стационарное и импульсное сопротивления заземлителей.

Молниезащита линий электропередачи. Методика определения удельного числа отключений линий в связи с ударами молнии. Удар молнии в линию без тросов. Удар молнии в линию, оснащенную тросами. Основные принципы молниезащиты воздушных линий.

Защита подстанций от прямых ударов молний. Зоны защиты молниеотводов.

Защита оборудования подстанций от набегающих волн атмосферных перенапряжений. Защитный подход. Методика оценки грозоупорности подстанций. Средства защиты и допустимое число отключений в год.

Волновые процессы в обмотках трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов. Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин.

#### 2.4.3 Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничения

Основные виды коммутационных перенапряжений и средства по их ограничению.

Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения, возникающие при автоматическом повторном включении линии (АПВ). Средства ограничения.

Перенапряжения при отключении холостых трансформаторов. Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Средства ограничения.

Особенности защиты от перенапряжений в электропередачах с продольной и поперечной компенсацией и в настроенных электропередачах.

Дуговые перенапряжения в сетях с неэффективным заземлением нейтрали. Влияние режима заземления нейтрали сети на развитие дуговых перенапряжений. Средства заземления нейтрали.

Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключенных реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях.

Феррорезонансные перенапряжения.

Основные факторы, определяющие влияние линий электропередачи на техносферу и биосферу. Влияние электромагнитных полей на человека. Средства защиты.

#### 2.4.4 Изоляционные конструкции высокого напряжения

Координация изоляции устройств высокого напряжения. Технико-экономический подход к выбору основных параметров изоляции на основе минимума приведенных затрат.

Изоляция воздушных линий электропередачи. Разрядные характеристики линейных изоляторов и гирлянд при напряжении промышленной частоты, коммутационных и грозовых импульсах напряжения. Выбор типа и числа изоляторов в гирлянде.

Воздушные промежутки в изоляции линий, регулирование электрических полей, применение расщепленных проводов. Разрядные характеристики типовых воздушных промежутков с учетом влияющих факторов. Методика выбора воздушных промежутков.

Внешняя изоляция распределительных устройств. Методика выбора и способы повышения надежности работы изоляции.

Разрядные характеристики промежутков, характерных для закрытых распределительных устройств с элегазовой изоляцией при различных формах воздействующего напряжения и давления. Влияние качества обработки электродов, наличия твердых частиц. Выбор изоляционных расстояний с учетом электрической прочности распорок.

Электрическая прочность внутренней изоляции. Кратковременная электрическая прочность внутренней изоляции. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции. Основные факторы, определяющие старение изоляции в процессе эксплуатации. Электрическое старение, частичные разряды в изоляции. Начальные и критические частичные разряды в бумажно-масляной изоляции. Особенности частичных разрядов в твердой изоляции на основе пластмасс.

Тепловое старение и окисление изоляции. Зависимость скорости теплового старения от температуры. Зависимость электрической прочности изоляции от увлажнения.

Ресурс изоляции. Обобщенные зависимости срока службы от напряженности и температуры, влияние интенсивности частичных разрядов. Методика выбора рабочей напряженности.

Основы конструирования внутренней изоляции. Характерные формы электрических полей в изоляционных конструкциях и методы их регулирования. Краевой эффект. Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью. Полупроводящие покрытия, применение экранов.

Основы теплового расчета изоляционных конструкций. Тепловой пробой.

Изоляция силовых трансформаторов. Кратковременная электрическая прочность маслосодержащей изоляции. Частичные разряды в силовых трансформаторах. Допустимые рабочие и испытательные напряженности в маслосодержащей изоляции. Конструкция изоляции. Расчеты главной продольной изоляции и отводов.

Конструкция и расчет проходных изоляторов. Изоляция трансформаторов тока и напряжения.

Изоляция силовых конденсаторов. Кратковременная и длительная электрическая прочность конденсаторной изоляции.

Элегазовые изоляционные конструкции электрооборудования энергосистем: комплектных распределительных устройств, измерительных трансформаторов, выключателей.

Изоляция силовых кабелей. Кабели с вязкой пропиткой. Маслонаполненные кабели. Конструкции соединительных и концевых муфт. Кабели с пластмассовой изоляцией.

Изоляция электрических машин. Кратковременная и длительная прочность. Допустимые рабочие и испытательные напряженности.

#### 2.4.5 Эксплуатация и испытания изоляции установок высокого напряжения

Методы испытания изоляционных конструкций повышенным напряжением промышленной частоты и импульсами.

Измерения тангенса угла диэлектрических потерь. Методы измерения. Характерные зависимости от напряжения.

Методы измерения характеристик частичных разрядов. Измерения характеристик частичных разрядов при рабочем напряжении в условиях эксплуатации.

Контроль состояния изоляции по сопротивлению и по токам абсорбции. Емкостные методы контроля влажности изоляции.

Неэлектрические методы контроля состояния изоляции. Анализ качества минерального масла. Хроматографический анализ газов. Ультразвуковая дефектоскопия. Тепловизионный контроль.

Дефектоскопия линейной изоляции.

Организация диагностики изоляции во время эксплуатации.

Испытательные установки высокого переменного напряжения. Испытательные трансформаторы. Резонансные способы получения испытательных высоких напряжений промышленной частоты.

Устройства для получения высоких постоянных напряжений. Методы и устройства для получения высоких импульсных напряжений. Методы получения грозовых и коммутационных испытательных импульсов.

Измерение высоких напряжений. Электростатические вольтметры, шаровые разрядники. Делители напряжения. Устройства для измерения напряженности электрического поля.

#### 2.4.6 Применение высоких напряжений в технологии

Направления применения высоких напряжений в технологических процессах. Технологические процессы, основанные на силовом действии электрических полей на материалы. Зарядка частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Коллективные процессы в заряженном аэрозоле. Применение коронного разряда. Очистка газов от частиц в электрофилтрах. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электросепарация. Электропечать. Нейтрализация зарядов статического электричества. Обезвоживание нефтепродуктов. Электропечать. Плазмохимические реакции в газовом разряде.

Электрогидродинамические и магнитно-импульсные технологии.

### **2.5 Профиль «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»**

#### 2.5.1 Понятия об энергетике, ТЭС и АЭС

Типы и классификация ТЭС и АЭС. Значение энергетике в развитии страны. Достижения в мировой энергетике последних лет. Развитие энергетике в России. Теплофикация и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ, АТЭЦ, АСТ). Современные тенденции в использовании различных видов топлива на ТЭС и АЭС. Структура современной ТЭС и АЭС, основные и вспомогательные службы.

#### 2.5.2 Электрическое и тепловое потребление

Графики потребления электрической энергии. Режимы работы ТЭС и АЭС в энергетической системе. Графики покрытия электрической нагрузки, в том числе по продолжительности. Показатели режимов. Преимущества и недостатки энергосистем. Пиковые и базисные ТЭС. Графики отпуска пара внешним потребителям. Пиковые источники пара. Графики отпуска теплоты с горячей водой. Отопительная, вентиляционная, бытовая нагрузки. Пиковые источники теплоты. Аккумуляторы теплоты.

#### 2.5.3 Тепловая экономичность КЭС и АЭС

Термический КПД КЭС и АЭС. Диаграмма потоков энергии КЭС и АЭС. Электрический КПД турбоустановки. КПД КЭС. КПД АЭС. Расход энергии на собственные нужды. КПД станции нетто. Расход пара, теплоты и топлива на КЭС. Показатели АЭС, расход ядерного топлива на АЭС.

#### 2.5.4 Тепловая экономичность ТЭЦ и АТЭЦ

Раздельное и комбинированное энергоснабжение. Типы турбин, применяющихся на ТЭЦ. Расход пара на теплофикационную турбину. Коэффициент недовыработки. Диаграмма энергии для ТЭЦ. Выработка энергии на тепловом потреблении. Частные КПД по производству тепловой и электрической энергии. Расход топлива на ТЭЦ. Выработка энергии на тепловом потреблении. Частные КПД по производству тепловой и электрической энергии. Расход топлива на ТЭЦ. Эксергетический метод распределения топлива на теплоту и электроэнергию.

#### 2.5.5 Тепловая экономичность ПГУ и ПГТЭЦ

Классификация ПГУ и ПГТЭЦ. Схемы ПГУ различных типов. КПД ПГУ сбросного типа. Схема и характеристики ПГУ-250 Молдавской ГРЭС, ПГУ-40т для городов Центра России. Схема и характеристики ПГУ-200 Невинномысской ГРЭС. ПГУ утилизационного типа и их характеристики. ПГУ-450т Северо-Западной ТЭЦ г. С-Петербурга. Особенности ПГУ на угле.

#### 2.5.6 Начальные параметры пара на ТЭС и АЭС

Влияние начальных параметров ТЭС и АЭС на термический КПД цикла Ренкина. Изменение влажности пара на последних ступенях турбины и внутреннего относительно КПД отсеков турбины с изменением начальных параметров пара. Сопряжение параметров пара. Перспективы применения суперсверхкритических параметров на КЭС и околокритических параметров на ТЭЦ. Начальные параметры на АЭС будущего. Начальные параметры в надстройках, ПГУ, ГТУ. Потеря давления в главных паропроводах, влияние скорости пара на КПД транспорта потока тепла.

#### 2.5.7 Конечные параметры на ТЭС и АЭС

Влияние конечного давления на термический КПД цикла Ренкина и влажность на последних ступенях турбины. Выбор кратности циркуляции, удельных паровых нагрузок низкочастотной части турбины. Ступенчатая конденсация пара. Воздушные конденсаторы пара. Перспективы применения ледотермических установок на ТЭС и АЭС. Влияние стоимости топлива, температуры охлаждающей воды и режима работы на конечные параметры пара.

#### 2.5.8 Промежуточный перегрев пара на ТЭС и осушка пара на АЭС

Влияние числа и параметров промежуточного перегрева пара на термический КПД цикла Ренкина. Выбор схем и параметров промперегрева на КЭС. Парциальный промперегрев на КЭС и ТЭЦ. «Холодные» отсеки. Промперегрев на АЭС. Схемы и параметры СПП в цикле насыщенного пара. Промперегрев в надстройках, ПГУ, ГТУ. Промперегрев через промконтур. Схемы и параметры КЭС с двукратным промперегревом.

#### 2.5.9 Регенеративный подогрев питательной воды

История развития регенеративного подогрева питательной воды. Влияние температуры питательной воды и числа регенеративных подогревателей на термический КПД цикла Ренкина. Распределение подогрева по ступеням. Выбор оптимальных температур и числа подогревателей питательной воды. Недогрев воды в поверхностных подогревателях. Особенности регенерации на ТЭЦ. Регенеративный подогрев на АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК. Регенерация в циклах с промперегревом, понятие нейтральной точки. «Холодные» регенеративные отсеки на КЭС и ТЭЦ. Регенеративный подогрев в надстройках и ПГУ. Отключение регенеративных подогревателей с целью выработки «пиковой» электроэнергии.

### 2.5.10 Схемы включения регенеративных подогревателей

Схемы включения смешивающих подогревателей и их расчет. Схемы с каскадным сливом дренажа. Включение охладителей конденсата в схемах с каскадным сливом. Схемы с охладителями пара и их расчет. Оптимальная схема с двукратным промперегревом. Схемы включения газовых и паровых ПВД и ПНД в ПГУ.

### 2.5.11 Балансы пара и воды. Восполнения потерь рабочего тела

Утечки пара и конденсата и их влияние на экономичность ТЭС. Расширители продувки и их расчет. Методы компенсации потерь: химический, термический. Назначение и расчет испарителей. Многоступенчатые испарительные установки. Схемы включения испарителей в тепловую схему турбины. Схемы без энергетических потерь. Автономные испарительные установки. Испарители мгновенного вскипания.

### 2.5.12 Отпуск пара и горячей воды потребителям

Потребители пара и параметры отпускаемого пара. Отпуск пара от ТЭЦ, РОУ, котельных. Понятие  $\alpha_{\text{ТЭЦ}}^{\text{п}}$ . Открытый отпуск пара. Отпуск пара через паропреобразователи. Отпуск перегретого пара по закрытой схеме. Отпуск пара через струйные аппараты. Отпуск пара от АЭС. Потребление теплоты на отопление, вентиляцию, для бытовых нужд. Системы теплоснабжения. Регулирование отпуска теплоты с горячей водой. Отпуск тепла от ТЭЦ. Понятие  $\alpha_{\text{ТЭЦ}}$ . Отпуск теплоты от КЭС и АЭС. Расчет сетевых подогревателей. Дальний транспорт горячей воды. Встроенные пучки в конденсатор.

### 2.5.13 Деаэрационные и питательные установки ТЭС и АЭС

Термическая деаэрация питательной воды. Закон Генри. Классификация деаэраторов. Расчет термического деаэратора. Схемы включения деаэратора в тепловую схему ТЭС и АЭС. Деаэрация в смешивающих ПНД и конденсаторах. Химическая деаэрация. Бездеаэрационные схемы. Деаэрация подпиточной и питательной воды испарителей и паропреобразователей.

### 2.5.14 Питательные насосные установки

Схемы включения питательных насосов на ТЭС и АЭС. Регулирование производительности питательных насосов. Расчет повышения энтальпии воды в питательном насосе. Расчет мощности привода питательного насоса. Электрический привод питательного насоса. Привод питательного насоса от вала главной турбины.

### 2.5.15 Энергетические характеристики конденсационных турбоустановок

Зависимость КПД энергоблока от нагрузки. Энергетические характеристики теплофикационных турбоустановок с одним и двумя отборами. Энергетические характеристики теплообменников.

### 2.5.16 Турбинный привод механизмов собственных нужд

Турбинный привод питательных насосов КЭС, ТЭЦ и АЭС. Привод от турбин типа ОК, ОР, от «холодных отсеков». Турбинный привод бустерных насосов. Расчет расхода пара на привод питательных турбонасосов. Схема включения БРОУ ТПН. Мощность тягодутьевых машин ТЭС. Турбинный привод воздуходувок котлов. Расчет расхода пара на привод ТВД. Схемы включения приводных турбин ТВД в тепловую схему ТЭС. Турбинный привод маслонасосов. Турбинный привод воздуходувок ТЭС.

### 2.5.17 Понятие принципиальной и расчетной тепловых схем

Принципы вычерчивания тепловых схем. Задачи расчета принципиальной тепловой схемы. Построение процесса расширения пара в турбине. Методика расчета тепловой схемы КЭС, АЭС, ТЭЦ, ГТУ, ПГУ. Определение показателей тепловой экономичности ТЭС и АЭС.

### 2.5.18 Методика анализа принципиальных тепловых схем и их изменений

Пример расчёта тепловой схемы конденсационного блока ТЭС; расчёт тепловой схемы ТЭЦ с турбинами типа Т и ПТ. Расчёт тепловой схемы АЭС и особенности её расчёта.

### 2.5.19 Полная (развернутая) тепловая схема ТЭС и АЭС

Состав развернутой тепловой схемы. Примеры полных развернутых тепловых схем различных электростанций. Трубопроводы ТЭС и АЭС; арматура и фасонные части трубопроводов; подвески и опоры

### 2.5.20 Выбор площадки и генеральный план электростанции

Выбор места строительства и площадки КЭС, ТЭЦ, АЭС, ПГУ. Специфические требования к строительству АЭС. Генеральный план электростанции. Размещение сооружений на генеральном плане АЭС.

### 2.5.21 Компоновка главного корпуса электростанции

Основные типы компоновок турбинного и котельного оборудования ТЭС. Компоновка главного корпуса пылеугольных электростанций. Основные требования к компоновке главного здания АЭС. Назначение и конструкции защитных оболочек реакторного, реакторно-парогенераторных цехов. Компоновка реакторного, реакторно-парогенераторного цехов. Зависимость типа компоновки от климатических условий.

### 2.5.22 Техническое водоснабжение

Потребление воды на электростанции. Источники и системы водоснабжения. Прямоточная и оборотные системы водоснабжения. Брызгальные бассейны. Водный баланс ТЭС и АЭС. Характеристики систем водоснабжения.

### 2.5.23 Топливное хозяйство электростанций

Доставка топлива на электростанцию. Схема топливного хозяйства электростанции. Характеристики топлива и их влияние на выбор оборудования топливного хозяйства. Размораживающие и разгрузочные устройства. Механизмы внутристанционного транспорта.



### 3 ВОПРОСЫ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ЭКЗАМЕНУ

#### 3.1 Профиль «Электрические станции и электроэнергетические системы»

##### 3.1.1 Электрическая часть электростанций

- 1) Сущность технологического процесса функционирования электрических станций различного типа.
- 2) Вопросы экологии при проектировании и эксплуатации электростанций.
- 3) Графики нагрузки электрических станций и их регулирование.
- 4) Структуры главных схем электростанций различного типа.
- 5) Структуры схем собственных нужд электростанций различного типа.
- 6) Термическое и динамическое воздействие токов короткого замыкания.
- 7) Методы и средства ограничения токов короткого замыкания. Координация уровней токов короткого замыкания.
- 8) Эксплуатационные характеристики и конструктивные особенности токоведущих элементов и контактных соединений, методика их выбора.
- 9) Заземляющие устройства электроустановок.
- 10) Системы управления, контроля и сигнализации на электростанциях и подстанциях. Установки оперативного тока.
- 11) Принципы выполнения и основные характеристики автоматизированных систем управления (АСУТП).
- 12) Принципы создания автоматизированных диагностических систем.
- 13) Режимы работы синхронных генераторов, синхронных компенсаторов, синхронных двигателей.
- 14) Системы возбуждения синхронных генераторов, синхронных компенсаторов и синхронных двигателей.
- 15) Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей собственных нужд электростанций в нормальных и аномальных условиях.
- 16) Режимы работы силовых трансформаторов и автотрансформаторов на электростанциях и подстанциях.
- 17) Основы проектирования электростанций.
- 18) Проектирование главной электрической схемы.
- 19) Проектирование электроустановок собственных нужд.
- 20) Конструкция распределительных устройств. Основные характеристики комплектных распределительных устройств (КРУ и КРУЭ).
- 21) Компоновка электрических станций и подстанций.

##### 3.1.2 Электроэнергетические системы и сети

- 1) Основные сведения об истории развития энергетики. Особенности развития энергетики в условиях рыночной экономики.
- 2) Модели оптимального развития энергосистем. Системный подход. Общий критерий оптимального развития.
- 3) Иерархическое построение энергосистем. Основные типы задач развития энергосистем. Методы прогнозирования их развития.
- 4) Особенности оптимизации структуры энергосистемы при ее проектировании и развитии (структура и размещение электростанций, структура электрических сетей).
- 5) Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: методы линейного и нелинейного математического программирования.
- 6) Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: транспортный и симплексный алгоритмы.

- 7) Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: динамическое программирование, метод границ и ветвей.
- 8) Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: градиентный метод, метод штрафных функций.
- 9) Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: критериальный анализ технико-экономических задач энергетики.
- 10) Электрические станции, электрические сети, потребители электроэнергии, как элементы энергосистем.
- 11) Методы определения расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства.
- 12) Сведения об условиях работы и конструктивном выполнении линий электрических сетей.
- 13) Режимы заземления нейтралей в сетях различного напряжения.
- 14) Характеристики и параметры элементов электрической сети.
- 15) Расчеты установившихся режимов электрических сетей, требования к режимам.
- 16) Регулирование режимов электрических сетей.
- 17) Основы технико-экономических расчетов электрических сетей.
- 18) Качество электрической энергии.
- 19) Регулирование напряжения в электроэнергетических системах, районных электрических сетях и системах электроснабжения.
- 20) Основы проектирования электрических сетей, выбор основных параметров электрических сетей.
- 21) Особенности расчетов электрических режимов протяженных электропередач переменного и постоянного тока. Электрические параметры протяженных электропередач.
- 22) Расчет режимов дальней электропередачи.
- 23) Пути, методы и средства увеличения пропускной способности и экономичности работы дальних электропередач.

### 3.1.3 Электроснабжение городов и промышленных предприятий

- 1) Общая характеристика систем электроснабжения.
- 2) Общее и различия в структурах систем электроснабжения городов и промышленных предприятий.
- 3) Теоретические основы формирования расчетной нагрузки элементов сети. Разница в подходах к формированию расчетной нагрузки в городской сети и сети промышленного предприятия.
- 4) Компенсация реактивных нагрузок. Обоснование различий в решении проблемы компенсации реактивных нагрузок в городах и на промышленных предприятиях.
- 5) Теоретические основы принципа размещения компенсирующих устройств в распределительных сетях промышленных предприятий.
- 6) Режим нейтрали в сетях до 1 кВ.
- 7) Причины нормирования однофазных токов замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью.
- 8) Требования к электрическим схемам распределительных сетей.
- 9) Характеристика схем различных типов с точки зрения загрузки оборудования.
- 10) Влияние изолированного заземления нейтрали на надежность электроснабжения для различных типов схем.
- 11) Обоснование необходимости глубоких вводов в городах и на промышленных предприятиях. Комплекс требований к сооружению подстанций глубокого ввода.
- 12) Встроенные подстанции, обоснование необходимости их применения и требования к конструкции.
- 13) Потери электроэнергии в распределительных сетях, структура потерь.

- 14) Применение различных методов расчета потерь электроэнергии в распределительных сетях в зависимости от исходных данных.
- 15) Методы и средства снижения потерь электроэнергии.
- 16) Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Причины искажений токов и напряжений в распределительных сетях и влияние этих искажений на работу электроприемников.
- 17) Методы расчета нормируемых показателей качества электроэнергии.
- 18) Методы и средства обеспечения показателей качества электроэнергии.

#### 3.1.4 Переходные процессы в электроэнергетических системах

- 1) Причины, вызывающие переходные процессы в электроэнергетических системах (ЭЭС).
- 2) Основные характеристики элементов ЭЭС и их математические модели, используемые при исследовании переходных процессов.
- 3) Виды возмущений, вызывающих переходные процессы в ЭЭС. Их отражение в схемах замещения ЭЭС, в том числе: короткие замыкания, сложные виды повреждений. Составление схем замещения для расчетов, применяемые допущения.
- 4) Практические методы расчета токов короткого замыкания.
- 5) Особенности расчета токов короткого замыкания в электроустановках переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В.
- 6) Общие уравнения, описывающие переходные процессы в электрических машинах. Преобразования координат.
- 7) Переходные процессы при коротких замыканиях в сетях, содержащих длинные линии, установки продольной компенсации, линейные, и нелинейные регулирующие элементы.
- 8) Практические критерии статической устойчивости.
- 9) Упрощенные критерии динамической и результирующей устойчивости в простейшей ЭЭС.
- 10) Исследование статической устойчивости простейшей нерегулируемой ЭЭС методом малых колебаний.
- 11) Статическая устойчивость системы с регулируемым возбуждением.
- 12) Переходные процессы в узлах нагрузки при малых и больших возмущениях.
- 13) Характеристики многомашинной ЭЭС. Устойчивость нормальных режимов сложных систем. Изменение частоты и мощности в ЭЭС.
- 14) Динамическая устойчивость ЭЭС.
- 15) Переходные процессы и устойчивость систем, объединенных слабыми связями. Асинхронные режимы, ресинхронизация и результирующая устойчивость.
- 16) Методические и нормативные указания по анализу переходных процессов и устойчивости ЭЭС.
- 17) Мероприятия по улучшению устойчивости и качества переходных процессов в ЭЭС.

#### 3.1.5 Релейная защита, автоматизация, автоматическое управление электроэнергетических систем

- 1) Повреждения и ненормальные режимы работы энергетических систем.
- 2) Задачи и алгоритмы управления энергетической системой и ее элементами.
- 3) Программно-технические комплексы автоматических и автоматизированных систем управления.

4) Назначение, выполняемые функции, общие требования и выполнение релейной защиты различных объектов энергосистем. Ближнее и дальнее резервирование. Работа при разных видах повреждений.

5) Назначение, выполняемые функции, общие требования и выполнение противоаварийной автоматики энергосистем.

6) Локальные и распределенные системы противоаварийной автоматики.

7) Первичные и вторичные измерительные преобразователи электрических величин.

8) Организация цепей вторичной коммутации. Системы оперативного тока.

9) Способы и средства определения электромагнитной обстановки и обеспечения электромагнитной совместимости средств управления на электроэнергетических объектах.

10) Критерии оценки и способы обеспечения надежности функционирования систем релейной защиты и средств противоаварийной автоматики.

11) Релейная защита синхронных генераторов большой мощности.

12) Релейная защита синхронных генераторов малой мощности.

13) Релейная защита трансформаторов.

14) Релейная защита автотрансформаторов.

15) Релейная защита электродвигателей.

16) Релейная защита шин.

17) Релейная защита воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 6-35 кВ.

18) Релейная защита воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 110-220 кВ.

19) Релейная защита воздушных и кабельных линий электропередачи напряжением 330-750 кВ.

20) Автоматическое повторное включение.

21) Автоматическое включение резерва.

22) Автоматическая частотная разгрузка.

23) Автоматическое регулирование напряжения в электрических сетях.

24) Автоматическое регулирование напряжения и распределение реактивной мощности на электрических станциях. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных генераторов.

25) Автоматическое регулирование частоты и распределение активной мощности. Регуляторы частоты вращения.

26) Методы и средства определения мест повреждений в сетях воздушных и кабельных линий электропередачи.

27) Системы сигнализации, регистрации и цифрового осциллографирования.

### 3.1.6 Применение теории вероятностей, теории подобия и вычислительной техники к анализу режимов работы электростанций, сетей и систем

1) Случайные события и случайные величины в электроэнергетике, их применение в расчетах надежности схем электрических соединений.

2) Применение математической статистики и методов обработки статистических данных по показателям надежности элементов, параметрам режимов, электрическим нагрузкам.

3) Понятия и методы расчета интегральных характеристик режимов в сложных электроэнергетических системах.

4) Случайные процессы при моделировании режимов и состояний в электроэнергетике. Понятие о простейшем стационарном процессе, моделирования процессов отказов и восстановлений элементов и схем в электроэнергетике.

5) Элементы теории массового обслуживания, метод статистических испытаний «Монте-Карло», их применение для решения энергетических задач.

- 6) Общий обзор проблемы моделирования, основы теории подобия. Полное и неполное подобие. Точность подобия.
- 7) Практические критерии подобия различных явлений, изучаемых в технике. Подобие электрических цепей.
- 8) Кибернетическое моделирование. Приближенное моделирование.
- 9) Методы обработки результатов экспериментов, планирование экспериментов.
- 10) Физическое и математическое моделирование процессов в электроэнергетических системах.
- 11) Расчеты режимов работы электростанций, сетей и систем с применением ПК. Области применения и возможности ПК при анализе режимов работы ЭЭС.
- 12) Основные алгоритмы расчетов режимов работы и устойчивости ЭЭС с применением ПК.

### 3.1.7 АСУ и оптимизация режимов работы электроэнергетических систем

- 1) Основные задачи АСУ в электроэнергетике. Структуры систем автоматического управления ЭЭС и ее элементов.
- 2) Противоаварийное управление, его задачи и способы реализации.
- 3) Основные задачи и способы диспетчерского управления.
- 4) Методы оптимизации режимов работы ЭЭС. Связь проблемы регулирования частоты с проблемой оптимального распределения нагрузок между электростанциями.
- 5) Проблемы межсистемных связей в больших ЭЭС.

### **3.2 Профиль «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»**

- 1) Диффузия тепловых нейтронов.
- 2) Замедление нейтронов в средах без поглощения.
- 3) Замедление нейтронов в тяжелых рассеивателях с поглощением. Резонансный интеграл.
- 4) Эффективный резонансный интеграл в приближениях узких резонансов и бесконечной массы.
- 5) Диффузия замедляющихся нейтронов.
- 6) Пространственное распределение замедляющихся нейтронов.
- 7) Возрастное приближение.
- 8) Метод групп. Многогрупповое приближение.
- 9) Цикл размножения нейтронов в реакторе. Коэффициент размножения.
- 10) Условие критичности для гомогенного реактора без отражателя в диффузионно-возрастном приближении.
- 11) Гомогенный реактор с отражателем в двухгрупповом приближении.
- 12) Физические особенности гетерогенного реактора.
- 13) Коэффициент размножения на быстрых нейтронах в гетерогенной среде.
- 14) Резонансное поглощение в гетерогенной среде.
- 15) Коэффициент использования тепловых нейтронов в решётке активной зоны.
- 16) Влияние параметров решетки на коэффициент размножения.
- 17) Кинетика холодного реактора с запаздывающими нейтронами.
- 18) Кинетика реактора с учетом температурных обратных связей.
- 19) Переходные процессы при положительном и отрицательном скачках реактивности. Мгновенная критичность.
- 20) Кинетика подкритического реактора.
- 21) Выгорание топлива в реакторе.
- 22) Шлакование реактора.

- 23) Отравление ксеноном.
- 24) Отравление самарием.
- 25) Воспроизводство вторичного ядерного горючего.
- 26) Изменение запаса реактивности в процессе кампании реактора.
- 27) Органы регулирования реактора.
- 28) Эффективность поглощающего стержня.
- 29) Интегральная и дифференциальная характеристика органов СУЗ. Способы их построения.
- 30) Теплофизический контроль работы реактора.
- 31) Основные эксплуатационные режимы реакторной установки.
- 32) Пуск и останов реактора.
- 33) Физический и энергетический пуск реактора.
- 34) Физические и конструктивные особенности реакторов разных типов.
- 35) Распределение энерговыделения в активной зоне.
- 36) Изменение температур теплоносителя, оболочки, топлива по высоте канала.
- 37) Температурное поле в ТВЭЛах.
- 38) Определение параметров теплоносителя в каналах кипящего реактора.
- 39) Особенности теплогидравлического расчета корпусных кипящих реакторов.
- 40) Гидравлические характеристики и режимы контуров циркуляции РУ с принудительной циркуляцией теплоносителя.
- 41) Естественная циркуляция теплоносителя.
- 42) Основные принципы теплоотвода от активной зоны реактора.
- 43) Остаточное энерговыделение в реакторе после останова..
- 44) Гидравлическое сопротивление каналов ЯР с однофазным теплоносителем.
- 45) Основные режимы течения двухфазных теплоносителей в трубах и каналах ядерного реактора.
- 46) Гидравлическое сопротивление каналов кипящего реактора.
- 47) Теплоотдача от ТВЭЛов к однофазному теплоносителю
- 48) Теплоотдача от ТВЭЛов к кипящей воде.
- 49) Кризис теплообмена при кипении в трубах и пучках стержней.
- 50) Факторы, определяющие теплотехническую надёжность активной зоны.
- 51) Аварийные режимы ядерного реактора.
- 52) Аварии с потерей теплоносителя.
- 53) Аварии с нарушением теплоотвода.
- 54) Реактивностные аварии.
- 55) Тяжелые аварии с плавлением топлива.
- 56) Системы безопасности РУ.
- 57) Локализирующие и защитные системы.
- 58) Система аварийного расхолаживания активной зоны.
- 59) Анализ надежности систем безопасности.
- 60) Общие принципы обеспечения безопасности АЭС.
- 61) Барьеры безопасности.
- 62) Основные типы ЯЭУ.
- 63) Принципиальные схемы ЯЭУ с ВВЭР.
- 64) Принципиальные схемы ЯЭУ с кипящими реакторами.
- 65) Принципиальные схемы ЯЭУ с реакторами типа БН.
- 66) Термодинамические циклы ЯЭУ.
- 67) Показатели тепловой экономичности ЯЭУ.
- 68) Особенности рабочего процесса и циклов ЯЭУ с турбинами насыщенного пара.
- 69) Промежуточная сепарация и промежуточный перегрев пара на АЭС.

- 70) Влияние начальных и конечных параметров цикла на тепловую экономичность АЭС.
- 71) Регенеративный подогрев питательной воды в турбоустановках АЭС.
- 72) Схемы включения регенеративных подогревателей в тепловую схему АЭС.
- 73) Термическая деаэрация добавочной и питательной воды.
- 74) Схемы включения деаэраторов в тепловую схему блока.
- 75) Отпуск тепла от АЭС. Способы отпуска пара и горячей воды.
- 76) Теплофикационные установки АЭС.
- 77) Конденсационные установки турбин АЭС.
- 78) Питательные установки АЭС.
- 79) Сравнение паротурбинного и электрического привода питательных насосов.
- 80) Основные принципы расчета тепловых схем ПТУ.
- 81) Топливный цикл АЭС.
- 82) Технология изготовления ядерного топлива.
- 83) Переработка отработавшего ядерного топлива.
- 84) Способы переработки и захоронения радиоактивных отходов.
- 85) Режимы работы энергоблоков АЭС в энергосистемах.
- 86) Маневренные характеристики энергоблоков АЭС.
- 87) Особенности работы паротурбинных установок в переменных режимах.
- 88) Режимы работы насосного оборудования АЭС.
- 89) Парогенераторные установки АЭС. Классификация и принципиальные схемы.
- 90) Конструкции основных типов парогенераторов.
- 91) Тепловые и гидравлические условия работы поверхностей нагрева ПГ с принудительной и естественной циркуляцией.
- 92) Физико-химические процессы в парогенераторах АЭС. Водный режим ПГ АЭС.
- 93) Обеспечение радиационной безопасности на АЭС.
- 94) Система радиационного контроля на АЭС.
- 95) Допустимые дозы облучения персонала на АЭС.
- 96) Основные принципы организации эксплуатации на АЭС.
- 97) Роль эксплуатационного персонала в обеспечении и эффективной эксплуатации АЭС. Культура безопасности на АЭС.
- 98) Основные принципы подготовки персонала на АЭС.
- 99) Основные этапы (технологическая последовательность) снятия АЭС с эксплуатации.
- 100) Основные конструкционные материалы АЭС и их свойства.
- 101) Влияние облучения на свойства конструкционных материалов.
- 102) Требования к ядерному топливу. Основные топливные композиции и их свойства.
- 103) Основные теплоносители на АЭС и их свойства.
- 104) Замедлители и их свойства.
- 105) Физико-химические процессы в топливе при его эксплуатации в условиях облучения.
- 106) Конструкционные материалы корпусов реакторов, оборудования ЯППУ и паровых турбин АЭС.

### 3.3 Профиль «Промышленная теплоэнергетика»

- 1) Понятие математической модели. Классификация математических моделей. Характеристика детерминированных и функциональных математических моделей.
- 2) Технология создания математических моделей. Физическое или концептуальное моделирование. Математическая формулировка задачи. Методы и алгоритмы решения. Про-

граммная реализация математических моделей. Проверка адекватности математических моделей. Вычислительный эксперимент с математической моделью.

3) Математическое моделирование процесса теплопроводности. Прямые и обратные задачи теории теплопроводности.

4) Особенности математического моделирования конвективного теплообмена.

5) Математическое моделирование радиационного теплообмена.

6) Методы решения задач тепломассообмена. Их классификация. Расчетные и экспериментальные методы. Методы теории подобия и метод аналогий. Аналитические и численные методы решения задач тепломассообмена. Численно-аналитические методы.

7) Метод сеток решения дифференциальных уравнений параболического и эллиптического типа в частных производных. Идея метода. Разностная схема. Понятие консервативности, устойчивости, аппроксимации и сходимости. Явные и неявные разностные схемы. Оценка точности разностных схем.

8) Современные языки программирования. CAE - системы. CAD -системы. Базы данных. Экспертные системы. Организация ввода и вывода данных. Оценка качества программного продукта.

9) Адаптация математических моделей. Настраиваемые коэффициенты. Способы проверки адекватности математических моделей.

10) Особенности построения математических моделей для управления и проектирования.

11) Термодинамика и ее метод. Термодинамическая система и окружающая среда. Термодинамические параметры состояния: термические (удельный объем, давление и абсолютная температура) и калорические (внутренняя энергия и энтальпия). Интенсивные и экстенсивные параметры.

12) Энергетические (калорические) параметры состояния. Внутренняя энергия. Энтальпия. Термодинамический процесс. Рабочее тело. Связь между параметрами и функциями состояния. Энергетические уравнения состояния. Термические уравнения состояния идеальных и реальных газов.

13) Первый закон термодинамики для изолированной и неизолированной системы. Обобщенная работа. Работа изменения объема. Рабочая ( $p-v$ ) – диаграмма. Теплота. Тепловая координата – энтропия. Тепловая ( $T-s$ ) – диаграмма. Энтальпийная форма записи первого начала термодинамики.

14) Теплоемкость. Расчет теплоты и изменения энтропии.

15) Термодинамика газов. Уравнение состояния идеального газа. Свойства идеальных газов. Основные термодинамические процессы изменения идеальных газов.

16) Термодинамика паров. Основные понятия и определения. ( $p-v$ ) и ( $T-s$ ) диаграммы водяного пара.

17) Классификация тепловых машин. Условия работы тепловых машин. Прямой и обратный циклы Карно. Второе начало термодинамики.

18) Предмет тепломассообмена. Виды теплообмена и их характеристики. Теплоотдача и теплопередача. Температурное поле. Изотермическая поверхность. Количество теплоты. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Линейная плотность теплового потока. Объемная плотность тепловыделений. Градиент температуры.

19) Основной закон теории теплопроводности постулат Фурье. Линейная и нелинейная форма записи. Энтальпийная форма записи. Коэффициент теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.

20) Дифференциальные уравнения теплопроводности. Вывод уравнения для изохорного и изобарного процессов теплообмена. Частные случаи записи дифференциального уравнения теплопроводности. Условия однозначности для решения дифференциального уравнения теплопроводности.



21) Методы решения дифференциального уравнения теплопроводности. Аналитические решения дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях I, II и III рода. Режимы нагрева (охлаждения) твердых тел.

22) Графическое представление аналитического решения дифференциального уравнения теплопроводности при граничных условиях 3-го рода. Расчеты температурных полей тел сложной формы при граничных условиях 3-го рода.

23) Стационарная теплопередача. Передача теплоты через плоскую, цилиндрическую и шаровую стенки при граничных условиях 1-го и 3-го родов. Критический диаметр цилиндрической и шаровой стенок.

24) Конвективный теплообмен. Основные понятия и определения. Дифференциальное уравнение энергии движущейся среды. Уравнение движения среды (уравнения Навье - Стокса) и неразрывности. Условия однозначности при решении дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

25) Основы теории подобия. Закон конвективной теплоотдачи. Закон Ньютона - Рихмана. Правила и требования теории подобия. Теорема Кирпичева - Гухмана.

26) Определяемые критерии подобия. Дифференциальные уравнения конвективной теплоотдачи. Вывод критериев Нуссельта и б/р температуры приведением дифференциального уравнения конвективной теплоотдачи к б/р виду. Критерий Стентона.

27) Определяющие критерии подобия. Вывод критериев гомохронности, Фруда, Галлилея, Архимеда, Грасгофа, Эйлера, Рейнольдса, Рэлея Пекле. Критерий Прандтля.

28) Уравнения подобия. Моделирование процессов конвективного теплообмена. Получение эмпирических формул. Определяющие размер и температура.

29) Теплообмен при конденсации. Основные понятия и определения. Критерий Рейнольдса при конденсации. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной поверхности. Теплообмен при пленочной конденсации неподвижного пара на наклонной поверхности и горизонтальной трубе. Конденсации в трубных пучках. Факторы, влияющие на теплообмен при конденсации.

30) Теплообмен при кипении. Физические особенности процесса кипения. Кривая кипения. Расчетные зависимости для теплоотдачи при пузырьковом кипении в большом объеме. Пленочное кипение жидкости. Кризисы кипения.

31) Классификация теплообменников. Виды расчетов теплообменников. Уравнение теплового баланса теплообменника. Понятие водяного эквивалента. Уравнение теплопередачи. Изменение температуры теплоносителей вдоль поверхности нагрева. Средняя разность температур.

32) Тепловой конструктивный и тепловой поверочный расчеты рекуперативного теплообменника. Эффективность теплообменного аппарата.

33) Аналогия процессов теплообмена и массообмена. Эффект Соре. Эффект Дюфо. Закон Фика. Уравнение массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Тройная аналогия.

34) Термодинамические основы термоупругости. Постановка задачи термоупругости. Классификация задач термоупругости.

35) Плоская задача термоупругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Термические напряжения в цилиндре при плоском осесимметричном температурном поле.

### **3.4 Профиль «Техника высоких напряжений»**

1) Стримерная теория развития разряда в газах. Разряд в газах при пониженных давлениях. Закон Пашена.

2) Ионизация в газах. Ее виды. Лавина электронов. Разряд в газе в резконеоднородном поле. Роль барьера.

- 3) Условие самостоятельности разряда в газах. Коэффициент ударной ионизации, вторичная ионизация.
- 4) Разряд по поверхности твердого тела. Факторы, влияющие на величину разрядных напряжений.
- 5) Разряды в газах на импульсном напряжении. Время разряда, стандартный импульс, вольт-секундная характеристика.
- 6) Механизм пробоя жидких диэлектриков. Маслосбарьерная и маслбумажная изоляция.
- 7) Проводимость жидких диэлектриков в электрическом поле. Подвижность носителей зарядов. Диссоциация, эмиссия электронов. Ток проводимости.
- 8) Формы пробоя твердых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида воздействующего напряжения, длительности воздействия напряжения.
- 9) Тепловой пробой твердых диэлектриков. Частичные разряды в диэлектриках.
- 10) Скользящий разряд по поверхности твердых диэлектриков в жидкости и газах.
- 11) Развитие короны при переменном и постоянном напряжении. Расчет потерь на корону.
- 12) Физика разряда молнии, параметры молнии, схема замещения ЛЭП при воздействии грозových перенапряжений.
- 13) Задачи и устройства грозозащиты ЛЭП. Уровень и показатель грозоупорности.
- 14) Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин.
- 15) Защита подстанций от набегающих волн. Грозозащитный подход, устройство, назначение.
- 16) Защита наземных объектов от прямых ударов молнии. Зона защиты молниеотводов.
- 17) Зона защиты стержневого молниеотвода. Вторичное перекрытие изоляции до ближайших объектов.
- 18) Устройство, принцип работы и характеристики трубчатого разрядника.
- 19) Искровой защитный промежуток (ИЗП). Вольт-секундная характеристика.
- 20) Вентильный разрядник. Назначение, принцип, устройство, основные характеристики.
- 21) Устройство и принцип работы ограничителей перенапряжений.
- 22) Перенапряжения при отключении ненагруженных ЛЭП. Меры защиты.
- 23) Отражение и преломление волн от разомкнутого конца ЛЭП. Переход волны из воздушной ЛЭП в кабель.
- 24) Режимы нейтрали в 3-х фазных сетях. Перенапряжения при дуговом замыкании фазы на землю в сетях с изолированной нейтралью. Дугогасящая катушка для устранения перенапряжений.
- 25) Перенапряжения при отключении холостых трансформаторов.
- 26) Падение волны на ЛЭП с емкостью или индуктивностью в конце.
- 27) Падение волны на обмотку высоковольтного трансформатора с заземленной и изолированной нейтралью.
- 28) Перенапряжения при несимметричном отключении фаз.
- 29) Методы, цели и задачи профилактики изоляции.
- 30) Методы измерения высоких импульсных напряжений. Виды делителей напряжения.
- 31) Уровень изоляции элементов энергосистемы, необходимость их координации. Понятие «уровень защиты», обобщенная вольт-секундная характеристика изоляции. Стратегия выбора уровня изоляции.
- 32) Изоляция высоковольтных конденсаторов, вводов.
- 33) Подвесные изоляторы ЛЭП. Типы, устройство, характеристики, распределение напряжения в гирлянде. Выравнивание напряжения вдоль гирлянд изоляторов.
- 34) Изоляция высоковольтных кабелей.

- 35) Устройство изоляции высоковольтных трансформаторов (внешняя, внутренняя, главная, продольная).
- 36) Высоковольтные изоляторы. Типы, конструкции, характеристики.
- 37) Методы регулирования электрических полей во внутренней изоляции.
- 38) Требования к высоковольтной изоляции. Классификация изоляции.
- 39) Методы испытания высоковольтной изоляции.
- 40) Организация диагностики изоляции во время эксплуатации.
- 41) Получение высоких переменных, постоянных и импульсных напряжений. Методы измерения этих напряжений.
- 42) Генератор импульсных токов. Схема, принцип работы, параметры, измерение импульсных токов.
- 43) Направления применения высоких напряжений в технологических процессах.
- 44) Очистка газов от частиц в электрофильтрах.
- 45) Электродинамические и магнитно-импульсные технологии.

### **3.5 Профиль «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»**

1. Понятия об энергетике, ТЭС и АЭС:
  - Каковы основные типы и принципы классификации ТЭС и АЭС?
  - Какую роль играет энергетика в развитии страны?
  - Каковы основные тенденции развития мировой энергетики?
  - Основные этапы развития энергетики в России;
  - Роль теплофикации и теплоэлектроцентралей (ТЭЦ, АТЭЦ, АСТ) в энергетике России;
  - Каковы современные тенденции в использовании различных видов топлива на ТЭС и АЭС?
  - Какова организационная структура современной ТЭС и АЭС, основные и вспомогательные службы?
2. Электрическое и тепловое потребление:
  - Основные виды графиков потребления электрической энергии;
  - Как организуется режимы работы ТЭС и АЭС в энергетической системе?
  - Основные виды графиков покрытия электрической нагрузки?
  - Показатели режимов работы энергетического оборудования в энергосистеме;
  - Каковы преимущества и недостатки энергосистем?
  - Какие ТЭС и почему относятся к пиковым и базисным?
  - Графики отпуска пара внешним потребителям;
  - Пиковые источники пара на ТЭС;
  - Графики отпуска теплоты с горячей водой;
  - Какие затраты тепла включает отопительная, вентиляционная, бытовая нагрузка?
  - Пиковые источники и аккумуляторы теплоты на ТЭС.
3. Тепловая экономичность КЭС и АЭС:
  - Понятие термического КПД КЭС и АЭС, основные зависимости;
  - В чем принципиальная разница диаграмм потоков энергии КЭС и АЭС?
  - Понятие абсолютного электрического КПД турбоустановки и его составляющие;
  - КПД КЭС и АЭС, составляющие КПД, основные зависимости;
  - Что включается в расход энергии на собственные нужды ТЭС?
  - Понятие КПД нетто ТЭС, его составляющие;
  - Основные расчетные зависимости для определения расхода пара, теплоты и топлива на КЭС;
  - Что используется в качестве показателей тепловой экономичности АЭС?

- Основные зависимости для расчета расхода ядерного топлива на АЭС.
4. Тепловая экономичность ТЭЦ и АТЭЦ:
- Преимущества и недостатки отдельного и комбинированного энергоснабжения;
  - Турбины каких типов применяются на ТЭЦ?
  - Основные зависимости для расчета расхода пара на теплофикационную турбину;
  - Понятие коэффициента недовыработки, расчетные зависимости;
  - Диаграмма потоков энергии для ТЭЦ и её отличие от аналогичных диаграмм для КЭС и АЭС;
  - Что такое выработка энергии на тепловом потреблении и как она определяется?
  - Основные расчетные выражения для определения частных КПД по производству тепловой и электрической энергии на ТЭС;
  - Основы расчета расхода топлива на ТЭЦ, методы распределения топлива на отпуск теплоты и электроэнергии.
5. Тепловая экономичность ПГУ и ПГТЭЦ:
- По каким признакам классифицируют ПГУ и ПГТЭЦ?
  - Изобразите тепловые схемы ПГУ различных типов;
  - Как определяется КПД ПГУ сбросного типа?
  - Как определяется КПД ПГУ утилизационного типа?
  - Типовые значения показателей тепловой экономичности для ПГУ и ПГТЭЦ различных типов;
  - Какие особенности накладывает на оборудование и схему ПГУ её работа на угле?
6. Начальные параметры пара на ТЭС и АЭС:
- Какое влияние и почему оказывают начальные параметры ТЭС и АЭС на термический КПД цикла Ренкина?
  - Как и почему изменение начальных параметров пара влияет на влажность пара на последних ступенях турбины и внутренний относительный КПД отсеков турбины?
  - что такое сопряженные начальные параметры пара?
  - Каковы перспективы применения суперсверхкритических параметров на КЭС и околокритических параметров на ТЭЦ?
  - Начальные параметры на АЭС будущего: перспективные проекты;
  - Как начальные параметры рабочего тела влияют на показатели тепловой экономичности в надстройках, ПГУ, ГТУ?
  - Влияние по показателю тепловой экономичности потерь давления в главных паропроводах, влияние скорости пара на КПД транспорта потока тепла.
7. Конечные параметры на ТЭС и АЭС:
- Как и почему конечное давление влияет на термический КПД цикла Ренкина и влажность на последних ступенях турбины?
  - По каким принципам выбирается кратность циркуляции, удельные паровые нагрузки низкопотенциальной части турбины?
  - Как реализуется ступенчатая конденсация пара в турбоустановках?
  - Особенности воздушных конденсаторов пара;
  - Каковы перспективы применения ледотермических установок на ТЭС и АЭС?
  - Влияние стоимости топлива, температуры охлаждающей воды и режима работы на конечные параметры пара.
8. Промежуточный перегрев пара на ТЭС и осушка пара на АЭС:
- Каким образом число и параметры промежуточного перегрева пара влияют на термический КПД цикла Ренкина?
  - Что такое парциальный промперегрев и как он реализуется на КЭС и ТЭЦ?
  - Использование «холодных» отсеков: схемы, показатели тепловой экономичности;
  - Каковы особенности применения промперегрева на АЭС?

- Основные схемы включения и параметры СПП в цикле насыщенного пара АЭС;
- Каковы особенности использования промперегрева в надстройках, ПГУ, ГТУ?
- Схемы и показатели тепловой экономичности установок с промперегревом через промконтур?

- Схемы и параметры КЭС с двукратным промперегревом.

#### 9. Регенеративный подогрев питательной воды:

- Как и почему влияет температура питательной воды и число регенеративных подогревателей на термический КПД цикла Ренкина?
- Основы распределения подогрева питательной по ступеням;
- По каким принципам выбираются оптимальные температуры и число подогревателей питательной воды?
  - Недогрев воды в поверхностных подогревателях: причины появления и следствия наличия;
  - Каковы особенности регенерации теплоты на ТЭЦ?
  - Использование регенеративного подогрева на АЭС с реакторами типа ВВЭР и РБМК;
  - Каковы особенности регенерации теплоты в циклах с промперегревом?
  - Понятие нейтральной точки;
  - Использование «холодных» отсеков на ТЭЦ и КЭС: схемы, показатели тепловой экономичности;
  - Каковы особенности регенеративного подогрева в надстройках и ПГУ?
  - Суть метода отключения регенеративных подогревателей для получения «пиковой» электрической мощности.

#### 10. Схемы включения регенеративных подогревателей:

- Каковы основные схемы включения смешивающих подогревателей?
- Преимущества и недостатки схемы с каскадным сливом дренажа;
- Что дает включение охладителей конденсата в схемах с каскадным сливом?
- Основные используемые схемы с охладителями пара;
- Оптимальная схема с двукратным промперегревом;
- Каковы основные схемы включения газовых и паровых ПВД и ПНД в ПГУ?

#### 11. Балансы пара и воды. Восполнения потерь рабочего тела:

- Как утечки пара и конденсата из цикла влияют на экономичность ТЭС?
- Схемы расширения продувки и их расчет;
- Каковы особенности химического и термического методов компенсации потерь рабочего тела?
  - Назначение и расчет испарителей;
  - Основные схемы многоступенчатых испарительных установок;
  - Каковы схемы включения испарителей в тепловую схему турбины?
  - Что такое «схемы включения испарителей без энергетических потерь»?
  - Автономные испарительные установки;
  - Испарители мгновенного вскипания: конструкции, схемы включения.

#### 12. Отпуск пара и горячей воды потребителям:

- Особенности отпуска пара от ТЭЦ, РОУ и котельных;
- Понятие  $\alpha_{\text{тэц}}^{\text{п}}$ ;
- Как и зачем осуществляется отпуск пара через паропреобразователи?
- Как осуществляется отпуск перегретого пара по закрытой схеме?
- Отпуск пара через струйные аппараты;
- Особенности отпуска пара от АЭС;
- Структура тепловой нагрузки – потребление теплоты на отопление, вентиляцию, для бытовых нужд;

- что является основными элементами системы теплоснабжения?
- Как осуществляется регулирование отпуска теплоты с горячей водой?
- Как осуществляется отпуск тепла от ТЭЦ?
- Понятие  $\alpha_{тэц}$ ;
- Как осуществляется отпуск теплоты от КЭС и АЭС?
- Основы расчета сетевых подогревателей;
- Особенности дальнего транспорта горячей воды;
- Применение встроены пучков в конденсаторах турбин.

### 13. Деаэрационные и питательные установки ТЭС и АЭС:

- Суть термической деаэрации питательной воды?
- Сформулируйте закон Генри;
- Каковы основные классификации деаэраторов?
- Схемы включения деаэратора в тепловую схему ТЭС и АЭС;
- Особенности деаэрации в смешивающих ПНД и конденсаторах;
- Как осуществляется химическая деаэрация?
- Бездеаэрационные схемы турбоустановок;
- Деаэрация подпиточной и питательной воды испарителей и паропреобразователей.

### 14. Питательные насосные установки:

- Каковы схемы включения питательных насосов на ТЭС и АЭС?
- Как осуществляется регулирование производительности питательных насосов?
- Расчет повышения энтальпии воды в питательном насосе;
- Основные расчетные выражения для мощности привода питательного насоса;
- Преимущества и недостатки разных способов привода питательных насосов: электрический привод, привод от вала главной турбины, привод от приводной турбины.

### 15. Энергетические характеристики конденсационных турбоустановок:

- Как и почему КПД энергоблока зависит от нагрузки?
- Особенности энергетических характеристик теплофикационных турбоустановок с одним и двумя отборами;
- Энергетические характеристики теплообменников.

### 16. Турбинный привод механизмов собственных нужд:

- Особенности турбинного привода питательных насосов КЭС, ТЭЦ и АЭС;
- Каковы особенности применения для привода насосов турбин типа ОК, ОР, «холодных отсеков»?
- Реализация турбинного привода бустерных насосов;
- Расчет расхода пара на привод питательных турбонасосов;
- Изобразите и дайте характеристику схемы включения БРОУ ТПН;
- Условия применения турбинного привода воздуходувок котлов;
- Основы расчета расхода пара на привод ТВД;
- Каковы основные схемы включения приводных турбин ТВД в тепловую схему

ТЭС?

### 17. Понятие принципиальной и расчетной тепловых схем:

- Какие задачи решаются при расчете принципиальной тепловой схемы ТЭС?
- Методика построения процесса расширения пара в турбине;
- Особенности методик расчета тепловой схемы КЭС, АЭС, ТЭЦ, ГТУ, ПГУ;
- Основные расчетные выражения для показателей тепловой экономичности ТЭС и

АЭС.

### 18. Методика анализа принципиальных тепловых схем и их изменений:

- Порядок расчёта тепловой схемы ТЭЦ с турбинами типа Т и ПТ;
- Расчёт тепловой схемы АЭС и особенности её расчёта.

19. Полная (развернутая) тепловая схема ТЭС и АЭС:  
 – Что изображается на развернутой тепловой схеме ТЭС?  
 – Трубопроводы ТЭС и АЭС: категории и область применения;  
 – Подвесы и опоры трубопроводов.
20. Выбор площадки и генеральный план электростанции:  
 – Каким требованиям должно отвечать место строительства и площадка КЭС, ТЭЦ, АЭС, ПГУ?  
 – Каковы специфические требования к строительству АЭС?  
 – Структура генерального плана электростанции.
21. Компонировка главного корпуса электростанции:  
 – Каковы основные типы компоновок турбинного и котельного оборудования ТЭС?  
 – Особенности компоновки главного корпуса пылеугольных электростанций;  
 – Каковы основные требования к компоновке главного корпуса АЭС?  
 – Какие особенности накладывают на тип компоновки ТЭС климатические условия района строительства?
22. Техническое водоснабжение:  
 – На какие цели расходуется вода на электростанции?  
 – Что может являться источниками водоснабжения?  
 – Особенности прямоточной и оборотных систем водоснабжения ТЭС;  
 – Назначение брызгальных бассейнов;  
 – Что описывает водный баланс ТЭС и АЭС?
23. Топливное хозяйство электростанций:  
 – Каковы основные способы доставки топлива на электростанцию?  
 – Особенности схем топливного хозяйства электростанций на разных видах топлива;  
 – Характеристики топлива и их влияние на выбор оборудования топливного хозяйства;  
 – Размораживающие и разгрузочные устройства;  
 – Механизмы внутристанционного транспорта.

## 4 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### 4.1 Профиль «Электрические станции и электроэнергетические системы»

4.1.1 Коротков В.Ф. Автоматическое регулирование в электроэнергетических системах: учебник для вузов.—М.: Издательский дом МЭИ, 2013.—416 с.

4.1.2 Калентиюнок Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем. – Минск: Техноперспектива, 2008.

4.1.3 Семенов В.А. Противоаварийная автоматика в ЕЭС России. – М.: НТФ "Энерго-прогресс": Энергетик, 2004.

4.1.4 Кулешов А.И., Прахин Б.Я. Расчет и анализ установившихся режимов электроэнергетических систем на персональных компьютерах. Учебное пособие / Изд. ИГЭУ. – Иваново, 2005.

4.1.5 Калентиюнок Е.В., Прокопенко В.Г., Федин В.Т. Оперативное управление в энергосистемах. – Минск: «Вышэйшая школа», 2007.

4.1.6 Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем: учебник для вузов / Под ред. А.Ф. Дьякова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 476 с.

4.1.7 Аржанников Е.А. Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов; под ред. В.А. Шуина. - М.: Энергоатомиздат, 2003. - 272 с.

- 4.1.8 Дьяков А.Ф. Микропроцессорная автоматика и релейная защита электроэнергетических систем: [учебное пособие для вузов] / А.Ф. Дьяков, Н.И. Овчаренко.—М.: Издательский дом МЭИ, 2008.—336 с.
- 4.1.9 Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: [учебник для вузов]. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2006. - 639 с.
- 4.1.10 Беляев А.В. Противоаварийная автоматика в узлах нагрузки с синхронными электродвигателями большой мощности. – М.: НТФ "Энергопрогресс": Энергетик, Ч. 1, 2008.
- 4.1.11 Беляев А.В. Противоаварийная автоматика в узлах нагрузки с синхронными электродвигателями большой мощности. – М.: НТФ "Энергопрогресс": Энергетик, Ч. 2, 2008.
- 4.1.12 Любарский Д.Р. Программно-технические средства противоаварийного управления локального уровня / Под ред. М. Ш. Мисриханова.—М.: Энергоатомиздат, 2005.
- 4.1.13 Наровлянский В.Г. Современные методы и средства предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы / Под ред. М. Ш. Мисриханова.—М.: Энергоатомиздат, 2004.
- 4.1.14 Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика линий электропередачи ВН и СВН. – М.: Энергопрогресс: Энергетик, 2007.
- 4.1.15 Шабад, М.А. Делительные защиты - автоматика деления при авариях / М.А. Шабад. – М.: Энергопрогресс, 2006.
- 4.1.16 Кудрин Б.И. Системы электроснабжения: учеб. пособие для вузов. – М.: Академия, 2011. – 352 с.
- 4.1.17 Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов / А.Ф. Дьяков [и др.]; [под ред. А.Ф. Дьякова]. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 544 с.
- 4.1.18 Кок Ж., Страусс К. Электроснабжение в промышленности: практическое руководство: [пер. с англ.]. – М.: Группа ИДТ, 2007. – 236 с.
- 4.1.19 Герасименко А.А. Передача и распределение электрической энергии: Учебное пособие / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. - Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006.-720 с.
- 4.1.20 Поспелов Г.Е. Электрические системы и сети: учебник для вузов/Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев. – Минск: Технопринт, 2004. -720 с.
- 4.1.21 Лыкин А.В. Электрические системы и сети: учебное пособие.— Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003.—248 с
- 4.1.22 Идельчик В.И. Электрические системы и сети: учебник для вузов / В.И. Идельчик. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 592 с.
- 4.1.23 Карташов И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения: учебное пособие. - М.: Изд-во МЭИ, 2001. - 72 с.
- 4.1.24 Кудрин Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: учебное пособие для вузов / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: Издательский дом МЭИ, 2013. - 412 с.
- 4.1.25 Шведов Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети: учебное пособие для вузов.- М.: Издательский дом МЭИ, 2012. - 268 с.
- 4.1.26 Крючков И.П. Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования / И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев, В.А. Старшинов и др.; Под ред. И.П. Крюčkова и В.А. Старшинова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005.– 416 с.
- 4.1.27 Балаков Ю.Н. Проектирование схем электроустановок: учеб. пособие для вузов/ Ю.Н. Балаков, М.Ш. Мисриханов, А.В. Шунтов – М.: Изд. МЭИ, 2004. – 288 с.
- 4.1.28 Баженов И.А., Марьянова С.И. Режимы работы основного электрооборудования электрических станций: Учебное пособие / ГОУВПО “Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина”. - Иваново, 2010. - 142 с.
- 4.1.29 Назарычев А.Н. Основы теории надежности энергообъектов [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Назарычев, А.А. Скоробогатов, Е.М. Новоселов; Министерство



образования и науки Российской Федерации; ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Электрон. данные.—Иваново, 2013.—141 с: ил.—Загл. с тит. экрана.—Электрон. версия печат. публикации.—Режим доступа: <https://ispu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2014>.

4.1.30 Рассказчиков А.В. Высоковольтные выключатели [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторной работе; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина", Каф. электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования ; ред. О.Н. Калачёва.—Электрон. данные.—Иваново, 2013.—28 с: ил.—Загл. с титул. экрана.—Электрон. версия печат. публикации.—режим доступа : <https://ispu.bibliotech.ru/Reader/Book/-1829>.

4.1.31 Хренников А.Ю. Электродинамическая стойкость силовых трансформаторов (реакторов) при коротких замыканиях: повреждения, испытания и диагностика: учебное пособие / А.Ю. Хренников, А.Н. Назарычев, Е.М. Новоселов; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Иваново, 2012.—92 с.

4.1.32 Рассказчиков А.В. Проектирование заземляющих устройств электростанций и подстанций: учебное пособие; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина".—Иваново, 2012.—88 с.

4.1.33 Савельев В.А. Основы энергетики [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 2 ч. / В.А. Савельев, Ю.А. Митькин; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина".—Электрон. данные.—Иваново, 2012.—320 с: ил.—Загл. с тит. экрана.—Электрон. версия печат. публикации.—Режим работы: <https://ispu.bibliotech.ru/Reader/Book/-2214>.

4.1.34 Проектирование системы собственных нужд электростанций с учетом требований эксплуатации: Методические указания к самостоятельной работе / Калачева О.Н., Лапшин В.М., Иваново, ИГЭУ, 2010.

## **4.2 Профиль «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»**

4.2.1 Зорин В.М. Атомные электростанции. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 672 с.

4.2.2 Зорин В.М. Атомные электростанции. Вводный курс. - М.: Издательский дом МЭИ, 2010. - 184 с.

4.2.3 Тевлин С.А. Атомные электрические станции с реактором ВВЭР-1000. -М.: Издательский дом МЭИ, 2008. - 358с.

4.2.4 Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А.Г. Костюк [и др.]; под ред. А.Г. Костюка.—Изд. 3-е, перераб. и доп.—М.: Издательский дом МЭИ, 2008.—560 с.

4.2.5 Титов В.Ф., Рассохин Н.Г., Федоров В.Г. Парогенераторы атомных электростанций. –М.: Энергоатомиздат, 1992.

4.2.6 Тепловые и атомные электрические станции: [учебник для вузов] / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин.—Изд. 4-е, перераб. и доп.—М.: Издательский дом МЭИ, 2008.—464 с.

4.2.7 Основы проектирования парогенераторов АЭС и ВВЭР: учебное пособие / В.С. Рабенко, А.Ю. Токов. — Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, 2002.—116 с.

4.2.8 Ильченко А.Г. Теплогидравлика реакторных установок. Учебн. пособие. - Иваново, ИГЭУ, 2005 - 160 с.

4.2.9 Габараев Б.А. Атомная энергетика XXI века: [учебное пособие] / Б.А. Габараев, Ю.Б. Смирнов, Ю.С. Черепнин.—М.: Издательский дом МЭИ, 2013.—250 с.

4.2.10 Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике / под общ. ред. П.Л. Кириллова. Т.2: Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы / П. Л. Кириллов [и др.].—М.: ИздАТ, 2013. - 688 с.

4.2.11 Саркисов А.А. Инженерные основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов: [учебное пособие для вузов] / А.А. Саркисов, Л.Б. Гусев, Р.И. Калинин; под ред. А.А. Саркисова.—М.: Издательский дом МЭИ, 2011.—550 с: ил.— 12. ВВЭР - 1000: физические основы, ядерное топливо, безопасность / А. М. Афров [и др.]. - М.: Логос, 2006. - 488 с.

4.2.12 Ильченко А.Г. Физика ядерных реакторов [Электронный ресурс]: учеб. пособие. – Иваново: ИГЭУ. - 2013. - 156 с.

4.2.13 Ильченко А.Г. Переходные и нестационарные процессы в ядерных реакторах: учебное пособие; Ивановский государственный энергетический университет; под ред. В.С. Щебнева.—Иваново, 2001.

4.2.14 Ильченко А.Г. Теория переноса нейтронов: конспект лекций. М-во образования Рос. Федерации, Иван. гос. энерг. ун-т.—Иваново: Б.и., 2004.—112 с.

4.2.15 Семёнов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов: учебное пособие. ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Иваново, 2009.—144 с.

4.2.16 Семенов В.К. Ядерная и нейтронная физика: учебное пособие. ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".—Иваново: Б.и., 2010.—232 с.

4.2.17 Кириллов П.Л. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: учебник для вузов / П.Л. Кириллов, Г.П. Богословская.—М.: Энергоатомиздат, 2000.—456 с.

4.2.18 Баклушин Р.П. Эксплуатационные режимы АЭС. – М.: Изд. дом МЭИ, 2012. – 532 с.

4.2.19 Иванов В.А. Эксплуатация АЭС. Атомэнергоиздат, С.-П., 1994 г.

4.2.20 Ковалевич О.М. Основы обеспечения безопасности атомных станций. –М.: Изд-во МЭИ, 1999.

4.2.21 Бахметьев А.М. Основы безопасности ядерных энергетических установок.- НГТУ. Нижний Новгород, 2006. - 174 с.

4.2.22 Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев.—М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.—352 с.

4.2.23 Китушин В.Г. Надежность энергетических систем: учебное пособие / В. Г. Китушин.—Новосибирск: Издательство НГТУ, 2003.

4.2.24 Кутьков В.А. Радиационная безопасность и радиационный контроль: учебное пособие / В.А. Кутьков, Б.В. Поленов, В.А. Черкашин; [под общ. ред. В.А. Кутькова].—Обнинск: НОУ "ЦИПК", 2008.

4.2.25 Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности / 14-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 2000.

4.2.26 Герасимов В.В., Монахов А.С. Материалы ядерной техники: М.: Энергоиздат, 1980 г.

### **4.3 Профиль «Промышленная теплоэнергетика»**

4.3.1 Арутюнов В.А., Бухмиров В.В., Крупенников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. - М.: Metallurgia, 1990. - 239 с.

4.3.2 Роуч П. Вычислительная гидродинамика: Пер. с англ. - М.: Мир, 1980. - 616 с.

4.3.3 Самарский А.А. Введение в численные методы. - М.: Наука, 1987. - 286 с.

4.3.4 Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2002.– 320с.

4.3.5 Коновалов В.И. Элементарная техническая термодинамика: Иван. гос. энерг. ун-т.- Иваново, 1999.-194 с.

- 4.3.6 Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
- 4.3.7 Коваленко А. Д. Основы термоупругости. - Киев: Наукова думка, 1970. - 304 с.

#### **4.4 Профиль «Техника высоких напряжений»**

4.4.1 Куффель Е. Техника и электрофизика высоких напряжений: [учебно-справочное руководство] / Е. Куффель, В. Цаенгль, Дж. Куффель; пер. с англ. С. М. Смольского, под ред. И.П. Кужекина.– Долгопрудный: Интеллект, 2011.–520 с.

4.4.2 Электрофизические основы техники высоких напряжений: [учебник / И.М. Бортник и др.]; под общ. ред. И.П. Верещагина.–2-е изд., перераб. и доп.–М.: МЭИ, 2010.–704 с.

4.4.3 Техника высоких напряжений: [учебник для вузов] / И.М. Богатенков [и др.]; под ред. Г.С. Кучинского.– СПб: Энергоатомиздат, 2003.– 608 с.

4.4.4 Горячкин С.Н. Перенапряжения в электрических сетях и защита от них: учебное пособие / С.Н. Горячкин ; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".– Иваново, 2007.–120 с.

4.4.5 Горячкин С.Н. Молниезащита электрических подстанций: учебное пособие / С.Н. Горячкин, А.В. Воробьев; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".– Иваново, 2011.–200 с.

4.4.6 Александров Г.Н. Молния и молниезащита / Г.Н. Александров; Российская академия наук, Институт электрофизики и электроэнергетики; [отв. ред. В.Н. Козлов].– М.: Наука, 2008.–274 с.

#### **4.5 Профиль «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты»**

4.5.1 Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. М.: Издательство МЭИ, 2004.

4.5.2 Рьжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987.

4.5.3 Липов Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. / Ю.М., Липов, Ю.М. Третьяков. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». – 2002.

4.5.4 Щегляев А.В. Паровые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1993.

4.5.5 Паровые и газовые турбины / Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. М.: Энергоатомиздат, 1985.

4.5.6 Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций. / Т.Х. Маргулова, О.И. Мартынова. – М.: Высшая школа. – 1987.

4.5.7 Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Изд-во МЭИ. – 1999.

4.5.8 Рихтер Л.А. Вспомогательное оборудование электростанций. / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин – М.: Энергоиздат, 1987.

4.5.9 Иванов В.А. Режимы мощных паротурбинных установок. – Л.: Энергоатомиздат. – 1986.