

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Самарский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО «СамГТУ»,  
д.т.н., профессор



Д. Е. Быков

2018 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
в аспирантуру СамГТУ**

по направлению подготовки **13.06.01 Электро- и теплотехника**

профили:

*Электромеханика и электрические аппараты (05.09.01)*

*Электротехнические комплексы и системы (05.09.03)*

*Электротехнология (05.09.10)*

*Электрические станции и электроэнергетические системы (05.14.02)*

*Промышленная теплоэнергетика (05.14.04)*

*Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты (05.14.14)*

# РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ.

## 1.1. Общие вопросы электромеханического преобразования энергии.

Развитие энергетики и электроэнергетических систем. Выработка электроэнергии на тепловых, гидравлических и атомных станциях. Возобновляемые источники электроэнергии, автономные электроэнергетические системы, проблема охраны окружающей среды.

Применение электрических машин, трансформаторов и аппаратов в системах генерирования, передачи, распределения и потребления электрической энергии.

Электромеханическое преобразование энергии и физические законы, на которых оно основано.

Обобщенная электрическая машина - математическая модель электрических машин всех типов. Допущения при записи уравнений обобщенной машины. Дифференциальные уравнения в различных системах координат. Уравнения Парка-Горева синхронной машины. Физический смысл параметров обобщенной машины - коэффициентов в дифференциальных уравнениях.

Электромагнитный момент обобщенной электрической машины, уравнение движения ротора. Статические и динамические механические характеристики электродвигателей. Способы измерения момента.

Временные и пространственные гармоники в электрических машинах, параметры высших гармоник. Методы расчета гармоник магнитодвижущей силы (МДС) и магнитной индукции в воздушном зазоре с учетом формы зубцовой зоны сердечников и нелинейных свойств магнитной цепи.

Временные и пространственные гармоники в электрических машинах, параметры высших гармоник. Методы расчета гармоник магнитодвижущей силы (МДС) и магнитной индукции в воздушном зазоре с учетом формы зубцовой зоны сердечников и нелинейных свойств магнитной цепи.

## 1.2. Общие вопросы машин переменного тока.

Электродвижущая сила (ЭДС), индуцированная в проводнике, расположенном в пазу электрической машины, зависимость ее от индукции в зазоре. ЭДС витка, катушки, катушечной группы и фазы.

МДС обмоток переменного тока. Укорочение шага, скос пазов, распределение обмоток.

Устройство и принцип действия асинхронного двигателя. Конструкция асинхронных двигателей с к.з. и фазным ротором. Асинхронные двигатели с повышенными пусковыми свойствами.

Уравнение электрического равновесия асинхронной машины. Схемы замещения асинхронных двигателей. Электромагнитная мощность и основные электромагнитные соотношения в асинхронных машинах. Электромагнитный момент асинхронного двигателя.

Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя. Потери и КПД. Рабочие характеристики асинхронных двигателей.

Механические характеристики асинхронных двигателей. Пуск в ход асинхронных двигателей. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.

Асинхронный двигатель в однофазном режиме. Конденсаторные асинхронные двигатели.

Конструкция явнополюсных и неявнополюсных синхронных машин. Синхронные машины малой мощности (шаговые, реактивные, гистерезисные, униполярные). Способы охлаждения синхронных машин.

Диаграмма Потье турбогенератора. Построение регулировочной характеристики по диаграмме Потье. Векторные диаграммы синхронных явнополюсных машин при разных типах нагрузки.

Синхронная машина, работающая параллельно с сетью. Синхронизация синхронных машин. Синхронизирующая мощность и момент СМ. Регулирование активной и реактивной мощности синхронного генератора.

Векторная диаграмма синхронной машины, работающей параллельно с сетью. V-образные характеристики синхронных машин.

### **1.3. Машины постоянного тока.**

Магнитное поле в машинах постоянного тока. Способы возбуждения машин постоянного тока. Магнитоэлектрические машины.

Основные уравнения МПТ. ЭДС якоря. МДС магнитной цепи и обмотки возбуждения. Уравнение момента и электромагнитной мощности.

Щеточный контакт и его вольт-амперные характеристики. Уравнения классической теории коммутации, виды коммутационных процессов. Анализ факторов, влияющих на коммутацию. Способы улучшения коммутации. Критерии потенциальной устойчивости и меры борьбы с круговым огнем. Настройка коммутации.

Обмотки якоря. Волновые, петлевые, комбинированные. Уравнительные соединения первого и второго рода. Обмотки добавочных полюсов, компенсационные обмотки.

Энергетическая диаграмма двигателя постоянного тока. Потери и КПД.

Пуск двигателей постоянного тока. Регулирование скорости вращения. Энергоэффективность методов регулирования

Магнитное поле МПТ на холостом ходу и под нагрузкой. Реакция якоря. Способы борьбы с вредными последствиями реакции якоря.

Исполнительные двигатели систем автоматики. Быстродействие ДПТ. Машины с гладким и полым якорем. Тахогенераторы постоянного и переменного тока.

Генераторы постоянного тока и их основные характеристики. Механические и рабочие характеристики ДПТ с различными типами возбуждения.

### **1.4. Трансформаторы.**

Трансформаторы как электромагнитные преобразователи энергии. Физические процессы в трансформаторе. Магнитные системы и обмотки трансформаторов, группы соединения обмоток. Несимметричные режимы работы.

Основные уравнения и схема замещения трансформатора. Параметры трансформаторов, методы их определения. Параллельная работа трансформаторов.

Потери и КПД трансформаторов. Соединение обмоток Y/Δ и Δ/Y и процессы, происходящие в обмотках и сердечниках таких трансформаторов.

Короткое замыкание в трансформаторе. Переходные процессы при внезапном к.з. трансформатора. Переходный процесс при включении трансформатора в сеть.

Материалы активных частей трансформаторов. Изоляционные материалы и классы их нагревостойкости.

Системы охлаждения трансформаторов. Нагрев и теплоотвод при различных типах охлаждения.

Регулирование напряжения трансформатора под нагрузкой и без нагрузки. Вольтодобавочные трансформаторы.

### Список рекомендуемой литературы

1. Вольдек, А. И. Электрические машины : машины перемен.тока:учеб. / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - М. ; СПб. ; Нижний Новгород : Питер, 2010. - 349 с.
2. Копылов И. П. Электрические машины [Текст] : учеб. / И. П. Копылов. - 3-е изд.,испр. - М. :Высш.шк., 2002. - 607 с. - ISBN 5-06-003841-6
3. Вольдек, А. И. Электрические машины [Текст] : учеб. / А. И. Вольдек. - 3-е изд.,перераб. - Л. : Энергия, 1978. - 832 с. Кацман, М. М. Электрические машины автоматических устройств [Текст] :учеб.пособие / М. М. Кацман. - М. : Форум : Инфра-М, 2002. - 264 с. - (Проф.образование). - ISBN 5-8199-0027-8 (в пер.) : 66.00 р. - ISBN 5-16-000831-4
4. Кацман, М. М. Электрические машины [Текст] : учеб. / М. М. Кацман. - 4-е изд.,перераб.и доп. - М. : Высш.шк., 2003. - 469 с.
5. Иванов-Смоленский, А. В. Электрические машины [Текст] : учеб. / А. В. Иванов-Смоленский. - М. : Энергия, 1980. - 927 с.
6. Электрические машины [Текст] : учеб. для бакалавров / Под ред. И.П.Копылова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Юрайт, 2012. - 675 с.
7. Галян, Э. Т. Электрические машины переменного тока [Текст] : учеб. пособие / Э. Т. Галян ; Самар.гос.техн.ун-т. - Самара : [б. и.], 2014. - 79 с.
8. Прохоров, С. Г. Электрические машины [Текст] : учеб. пособие / С. Г. Прохоров, Р. А. Хуснутдинов. - Ростов н/Д : Феникс, 2012. - 410 с.
9. Макаричев, Ю. А. Синхронные машины [Текст] :учеб.пособие / Ю. А. Макаричев, В. Н. Овсянников ; Самар.гос.техн.ун-т. - Самара : [б. и.], 2011. - 152 с., 1990. - 416с.

## **РАЗДЕЛ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ.**

### **2.1 Математическое моделирование объектов электротехники и электроэнергетики**

Моделирование как метод познания объектов, процессов, явлений. Понятие системы. Классификация моделей. Переменные в математических моделях. Адекватность и эффективность математических моделей. Свойства объектов моделирования. Модели объектов электротехники. Математические модели основных элементов энергетической системы и системы в целом. Математическая модель линии с распределенными параметрами. Математические модели линии в виде схем замещения. Упрощенные модели ЛЭП. Математические модели силового трансформатора. Моделирование генераторных узлов при расчетах статических режимов электроэнергетических систем.

Статические модели. Математические модели объектов энергетики, сводящиеся к системам алгебраических уравнений. Формирование и матричная запись уравнений установившегося режима электрических систем. Узловые уравнения установившегося режима. Учет особенностей систем линейных алгебраических уравнений при описании электрических систем.

Методы решения линейных уравнений. Метод Гаусса в алгебраической форме. Табличная форма метода Гаусса. Метод триангуляции матриц. Обращение матрицы узловых проводимостей. Решение системы линейных уравнений в обращенной форме, область применения такого подхода.

Нелинейные модели установившихся режимов. Нелинейные модели установившихся режимов и их описание. Методы решения нелинейных уравнений. Итерационные методы решения уравнений. Простая и ускоренная итерация. Коэффициенты ускорения и замедления расчетов режима. Метод Ньютона.

Динамические модели. Математические модели, сводящиеся к системам обыкновенных дифференциальных уравнений. Формирование и решение систем дифференциальных уравнений. Моделирование переходных процессов. Формирование и исследование моделей объектов электротехники.

### **2.2. Методы исследований в электротехнике и электроэнергетике**

Основные направления, тенденции и перспективы развития объектов электроэнергетики и электротехники. Тренды и сценарии развития мировой и российской энергетики. Обзор и анализ современных и перспективных технологий в области производства, передачи и потребления электрической энергии. Анализ подходов, методов исследований и реализация технологий в области электроэнергетики.

Методы экспериментальных исследований. Классификация, типы и задачи эксперимента. Метрологическое обеспечение экспериментальных исследований. Рабочее место экспериментатора и его организация. Вычислительный эксперимент. Основы теории случайных ошибок и методов оценки случайных погрешностей в измерениях. Методы графической обработки результатов измерений. Методы подбора эмпирических формул. Регрессионный анализ. Оценка адекватности теоретических решений. Элементы теории планирования эксперимента.

Методы расчетных и теоретических исследований. Сбор, накопление и обработка научной информации. Задачи и методы теоретического исследования. Использование математических методов в исследованиях. Аналитические методы. Вероятностно-статистические методы.

### **2.3. Режимы работы электрооборудования станций и подстанций**

Электрооборудование станций и подстанций. Электрооборудование станций и подстанций - технические средства, обеспечивающие преобразование различных видов энергии в электрическую и ее передачу в электроэнергетическую систему.

Режимы работы трансформаторов. Особенности режимов работы трансформаторов с различными схемами и группами соединения обмоток. Эксплуатационные характеристики трансформаторов при нагрузке. Несимметричные режимы работы трансформаторов. Переходной процесс при подключении трансформатора к сети. Режим работы трехфазной группы трансформатора (звезда с нулевым проводом - треугольник) при отключении одной фазы.

Режимы работы синхронных генераторов. Взаимосвязь особенностей конструкций синхронных генераторов, используемых на тепловых, атомных, гидроэлектростанциях и на станциях на основе возобновляемых источниках энергии), с режимами их работы. Обмотки синхронных машин. Изменение напряжения синхронного генератора при нагрузке. Электромагнитная мощность и основные режимы работы синхронных машин. Асинхронные режимы турбогенераторов. Несимметричная нагрузка синхронных генераторов. Несимметричные короткие замыкания. Качания синхронных генераторов. Динамическая устойчивость. Системы возбуждения синхронных генераторов.

Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. Технические характеристики синхронных и асинхронных электродвигателей. Анализ режимов синхронных и асинхронных двигателей при коротких замыканиях, пусках и перерывах питания. Особенности группового выбега электродвигателей. Влияние отклонения напряжения и частоты от номинальных значений на режим работы синхронных и асинхронных электродвигателей.

Режимы работы коммутационных аппаратов. Работа коммутационной аппаратуры на электрических станциях в энергосистеме. Переходные процессы при коммутациях. Расход ресурса коммутационных аппаратов при работе в системе. Методы контроля и расчета.

## **2.4. Электроэнергетические системы**

Характеристика и структура современных электроэнергетических систем. История и закономерности развития электроэнергетических систем. Современное состояние электроэнергетических систем и их характерные особенности.

Понятие режимов электрической сети. Подготовка исходных данных к расчету режимов сети. Методы расчета установившегося режима и их применение в промышленных программах. Пропускная способность электропередачи и мероприятия по её увеличению. Предельная передаваемая по ЛЭП активная мощность. Волновые параметры ЛЭП СВН. Понятие о расчетах динамических режимов ЛЭП. Выбор расчетных условий для исследований ЭЭС в установившихся и переходных режимах.

Технико-экономические основы проектирования электрических сетей. Основные задачи проектирования электрических сетей. Капитальные вложения на сооружение воздушных и кабельных линий. Капитальные вложения на сооружение понижающих подстанций. Издержки на амортизацию и обслуживание сети. Понятие нормированного срока окупаемости, коэффициента эффективности и дисконтированных затрат.

Инновационные технологии и компоненты ЭЭС. Распределенная генерация и ее функциональные свойства. Технологии распределенной генерации. Применение накопителей, их функции. Цифровая подстанция. Интеллектуальные системы контроля и удаленный мониторинг. Активный потребитель. Микросети.

## **2.5. Электротехнические комплексы и системы автономных объектов.**

Вопросы генерации, накопления и распределения электроэнергии в автономных электротехнических комплексах и системах. Проблема электромагнитной совместимости электротехнического комплекса автономного объекта. Вопросы повышения

эксплуатационной эффективности, надежности и качества электротехнических комплексов и систем автономных объектов.

Перспективы развития систем электроснабжения и электропотребления в автономных объектах. Моделирование и расчет режимов работы компонентов электротехнического комплекса автономных объектов.

### **Список рекомендуемой литературы**

#### **Основная литература**

1. Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебник для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев; под ред. И.П. Крючкова. — 2-е изд., стер.— М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 414 с.
2. Основы научных исследований и изобретательства [Текст] : учебное пособие / И.Б. Рыжков. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург [и др.] : Дань, 2013.
3. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы [Текст] : учеб. / А. И. Вольдек, В. В. Попов . - Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2008. - 319 с.
4. Основы научных исследований [Текст] : учеб. пособие / Б. И. Герасимов [и др.] ; - Москва : Форум, 2013. - 272 с
5. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учеб. / А. И. Вольдек. В. В. Попов Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2008. - 319 с.
6. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник / А. И. Вольдек ; авт. Попов В.В. - Санкт-Петербург [и др.] : ПИТЕР, 2007. - 349 с.

## РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

### 3.1. Введение

История развития электромеханики и теории электрических аппаратов в России и зарубежом. Современный уровень развития электромеханических преобразователей энергии. Достижения современного электроаппаратостроения. Роль и место электрических машин в процессе энергопреобразования и в современном промышленном производстве. Роль и место электрических аппаратов в комплексе электрооборудования предприятий электроэнергетики, индустрии, автономных объектов, средств транспорта и связи.

Понятия об электромеханическом преобразователе энергии. Основные законы электромеханики. Уравнения и параметры обобщенного  $\wedge$  электромеханического преобразователя энергии. Принцип действия и устройства индукционных электромеханических преобразователей. Свойство обратимости. Применение компьютеров для решения основных уравнений электромагнитных и электромеханических процессов в электрических машинах.

### 3.2. Общие вопросы теории машин постоянного тока

Основные элементы конструкции и принцип действия МПТ. Материалы, применяемые в электромашиностроении. Обмотка якоря. Электромагнитный момент МПТ. Пульсации на коллекторе и способы их уменьшения. Принцип вентильно-механической и вентильной коммутации.

Магнитное поле в воздушном зазоре машины при холостом ходе. Поле рассеяния полюсов. Магнитная цепь и ее расчет. Кривая намагничивания.

Магнитное поле машины постоянного тока при нагрузке. Поперечное поле и продольное поле якоря. Физическая картина реакции якоря. Качественный анализ влияния сдвига щеток и насыщения.

Качественный учет влияния реакции якоря на магнитный поток и ЭДС при различных состояниях магнитной цепи. Влияние искажения магнитного поля в зазоре на потенциальную кривую коллектора. Компенсационная обмотка.

Коммутация тока в секциях обмотки якоря. Электромагнитные процессы в контуре машинной коммутации при различных видах коммутации. Способы улучшения коммутации — применения добавочных полюсов, сдвига щеток.

Влияние на коммутацию обмоток, сорта щеток, состояние и материала коллектора. Искрение, причины искрения. Настройка коммутации. Роль отечественных ученых в развитии теории коммутации. Коллекторы из графита и углепластика.

### 3.3. Генераторы и двигатели постоянного тока.

Генераторы постоянного тока. Классификация по способу возбуждения. Энергетическая диаграмма, уравнения ЭДС. Характеристики генераторов с независимым, параллельным и смешанным возбуждением. Расчетный метод построения характеристик.

Двигатели постоянного тока. Классификация. Условия устойчивой работы двигателей в электроприводе. Двигатель с независимым и параллельным возбуждением. Рабочие и механические характеристики. Особенности регулирования частоты вращения и управления.

Двигатель последовательного возбуждения. Механические и рабочие характеристики. Пуск и регулирование частоты вращения. Особенности характеристик двигателей смешанного возбуждения.

Динамические характеристики и параметры двигателей постоянного тока. Каскадное соединение МП. Вентильно-машинные системы постоянного тока. Вентильные двигатели постоянного тока.

Двигатели постоянного тока с гладким якорем. Малоинерционные высокомоментные исполнительные двигатели МПТ предельной мощности. Типы и конструкции современных машин постоянного тока.

### **3.4. Рабочий процесс однофазного трансформатора.**

Назначение и роль трансформаторов в народном хозяйстве. Основные элементы, конструкции трансформаторов. ЭС коэффициент трансформации. Холостой ход однофазного трансформатора. Уравнение равновесия ЭДС, векторная диаграмма и схема замещения при холостом ходе.

Короткое замыкание. Уравнение равновесия МДС и ЭДС. Приведённый трансформатор, векторная диаграмма и схемы замещения в режиме короткого замыкания. Определение параметров трансформатора из опытов холостого хода и короткого замыкания.

Рабочий режим схемы замещения и векторная диаграмма. Изменение напряжения трансформатора при нагрузке. Внешняя характеристика. Потери и КПД трансформатора.

### **3.5. Трёхфазные трансформаторы.**

Особенности физических процессов в трёхфазных трансформаторах с отдельной и общей магнитными системами. Схемы соединения обмоток, группы соединения. Особенности холостого хода трёхфазных трансформаторов.

Параллельная работа трансформаторов. Условия включения на параллельную работу. Распределение нагрузки между трансформаторами при параллельной работе.

### **3.6. Переходные процессы в трансформаторах, специальные трансформаторы.**

Переходные процессы в трансформаторах при включении в сеть и при внезапном коротком замыкании. Витковое короткое замыкание. Электродинамические усилия, действующие на обмотки при коротком замыкании.

Специальные трансформаторы. Автотрансформаторы. Трёхобмоточные трансформаторы. Импульсные трансформаторы, конструкции современных трансформаторов.

### **3.7. Общие вопросы теории машин переменного тока.**

Роль машин переменного тока в генерировании и потреблении электрической энергии. Принцип работы и устройство машин переменного тока. ЭДС обмоток машин переменного тока. Обмоточный коэффициент. Способы уменьшения высших гармоник в кривой ЭДС.

Обмотки машин переменного тока: однослойные и двухслойные, с полным и укороченным шагом, петлевые и волновые, с целым и дробным числом пазов на полюс и фазу.

МДС обмоток машин переменного тока. Пульсирующее магнитное поле. Образование вращающегося магнитного поля. Пространственные и временные гармонические в кривой МДС; способы их уменьшения.

### **3.8. Рабочий процесс асинхронных машин.**

Назначение и роль асинхронной машины в народном хозяйстве. Конструкция и принцип действия асинхронной машины. Трёхфазная асинхронная машина при неподвижном роторе. Потенциал-регулятор и фазорегулятор.

Трёхфазная асинхронная машина при вращающемся роторе. Уравнение напряжений и токов. Схема замещения и векторная диаграмма асинхронной машины, приведённой к режиму работы трансформатора.

Двигательный режим работы асинхронной машины. Энергетическая диаграмма и уравнение баланса мощностей. Вращающийся момент асинхронной машины и его зависимость от скольжения.

Пусковой, номинальный и максимальный моменты вращения. Зависимость момента от частоты и активного сопротивления ротора. Паразитные моменты и борьба с ними. Статическая устойчивость работы асинхронного двигателя.

Круговая диаграмма асинхронной машины. Характерные точки и линии круговой диаграммы. Построение рабочих характеристик по круговой диаграмме. Построение характеристик по каталожным данным. Потери и КПД асинхронной машины.

### **3.9. Пуск в ход, регулирование частоты вращения и электрическое торможение асинхронного двигателя.**

Пуск в ход асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при полном и пониженном напряжении сети. Реостатный пуск асинхронного двигателя с фазным ротором.

Расчет пусковых сопротивлений.

Глубокопазные двигатели. Двухклеточные двигатели М.О. Доливо-Добровольского.

Особенности пусковых свойств и характеристик.

Регулирование частоты вращения трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором. Способы электрического торможения.

### **3.10. Работа автономного синхронного генератора при симметричной нагрузке.**

Назначение и роль синхронных машин в народном хозяйстве. Устройство и принцип действия синхронной машины. Явнополюсные и неявнополюсные машины. Реакция якоря синхронной машины при симметричной активной, индуктивной и ёмкостной нагрузках.

Поперечное и продольное поле якоря. Коэффициенты приведения поперечной и продольной МДС обмотки возбуждения неявнополюсных и явнополюсных синхронных машин. Параметры обмотки якоря при установившемся режиме работы. Параметры в системе относительных единиц.

Векторные диаграммы неявнополюсных и явнополюсных синхронных машин при сбросе и набросе нагрузки. Характеристики синхронных генераторов. Определение параметров обмотки статора по характеристикам.

### **3.11. Параллельная работа синхронных машин.**

Параллельная работа синхронного генератора с сетью. Синхронизация. Регулирование активной и реактивной мощностей синхронных машин, работающих с сетью бесконечной мощности. Векторные диаграммы и U—образные кривые.

Электромагнитная мощность и момент синхронной машины. Угловые характеристики. Статическая устойчивость. Синхронизирующая мощность и момент. Асинхронные режимы и самовозбуждение.

Синхронный двигатель с электромагнитным возбуждением. Векторные диаграммы и U-образные характеристики. Частотный способ регулирования скорости. Способы пуска.

### **3.12. Основы теории электрических аппаратов.**

Области применения, классификация электромагнитов, расчет магнитных полей. Расчет и экспериментальное определение магнитных проводимостей воздушных промежутков.

Расчет магнитной цепи электромагнитов постоянного тока, обмоточных данных. Магнитные цепи электромагнитов переменного тока. Расчет обмоток.

Энергетический баланс электромагнита постоянного тока. Расчет силы тяги, формула Максвелла.

Сила тяги электромагнитов переменного тока. Магнитный демпфер.

Тяговые и механические характеристики электромагнитов постоянного и переменного тока.

Динамика электромагнитов, время трогания и движения. Ускорение и замедление срабатывания.

Электродинамические усилия (ЭДУ), методы расчета. Электродинамическая устойчивость.

Нагрев электроаппаратов, нормы нагрева, термическая устойчивость.

Электроконтакты, понятия и теория. Конструкция и выбор коммутирующих контактов.

Электрическая дуга, физические явления, основы горения и гашения дуги постоянного тока.

Магнитные усилители (МУ), дроссельный МУ, характеристики и режимы работы.

МУ с самоподмагничиванием (МУС). Двухполупериодные схемы МУС.

Предохранители, параметры, требования, характеристики. Выбор предохранителей.

Контакты постоянного и переменного тока, параметры, требования.

Магнитные пускатели.

Автоматические воздушные выключатели (автоматы), виды, параметры.

Электромагнитные реле (тока и напряжения, для энергосистем и электроприводов). Тепловое реле. Устройство, характеристики. Реле времени.

Полупроводниковые реле. Устройство, параметры.

Бесконтактные контакторы и пускатели на базе тиристорных элементов.

Электромагнитные муфты. Функциональные, индукционные. Принцип действия, конструкция.

Комплектные распределительные устройства. Виды, состав, конструкция.

Ограничительные аппараты. Реакторы, разрядники, ограничители напряжения.

### Список рекомендуемой литературы

1. Вольдек А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - СПб.: Питер, 2007. - 350 с.
2. Вольдек А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - СПб.: Питер, 2007. - 320 с.
3. Беспалов, В. Я. Электрические машины. Учебное пособие для вузов / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. - М. : Академия, 2006. - 320 с.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Учебник для вузов. Т.1 - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 650 с.
5. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Учебник для вузов. Т.2 - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 520 с.
6. Электрические и электронные аппараты. В 2 т. Т. 1. Электромеханические аппараты. Учебник для студ. высш. учеб. заведений / [Е.Г.Акимов и др.]; под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К.Розанова. — М.: Издательский центр «Академия», 2010. — 352 с.
7. О. В. Девочкин, В. В. Лохнин, Р. В. Меркулов, Е. Н. Смолин. Электрические аппараты. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 240 с.
8. Электротехнический справочник. Под ред. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского и др. Изд. 6-е т. 1, т. 2. - М.; Энергоатомиздат. 1980,81. 620 с.
9. Шпаненберг. Электрические машины. 1000 понятий для практиков: Справочник. Пер. с нем. - М.: Энергоатомиздат, 1988. - 252 с.

10. Сахаров П.В. Проектирование электроаппаратов. - М. : Энергия, 1971.

## **РАЗДЕЛ 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

### **4.1. Электрическая часть электростанций**

Особенности технологического процесса функционирования электрических станций различного типа. Вопросы экологии при 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.

Особенности 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.

### **4.2. Проектирование электрической части электростанций**

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). Компоновка электрических станций и подстанций.

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

### **4.3. 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: линейное и нелинейное математическое программирование, 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 исполнении 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 установившихся 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.

Проектирования электрических сетей, выбор их основных параметров при проектировании.

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

#### **4.4. Переходные процессы в электроэнергетических системах**

Причины, вызывающие переходные процессы в электроэнергетических системах (ЭЭС). Физическая природа 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 (КЗ), сложные виды повреждений. Составление схем замещения для расчетов, применяемые допущения.

Практические методы расчета токов КЗ. Особенности расчета токов КЗ в электроустановках переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В.

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

Переходные процессы при КЗ 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.

#### **4.5. Релейная защита и 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.

Комплексы сбора, передачи и отображения оперативной и аварийной информации. Первичные и вторичные измерительные преобразователи электрических величин. Цепи вторичной коммутации энергетических объектов. Каналы межобъектовой связи. Способы обеспечения помехоустойчивости, корректирующие коды. Протоколы передачи информации.

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 с каналами связи.

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

Автоматическое регулирование напряжения и распределение реактивной мощности. Регуляторы возбуждения и коэффициент 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.

#### **4.6. 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 интегральных характеристик режимов и методы их расчета 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, моделированием процессов отказов и восстановлении 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 ЭВМ. Области применения и возможности ЭВМ при анализе режимов работы ЭЭС.

Основные алгоритмы расчетов режимов работы и устойчивости ЭЭС с применением ЭВМ. Применение алгоритмических языков.

### Список рекомендуемой литературы

1. Васильев А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А.А. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Околович Н.М. Проектирование электрических станций. М.: Энергоатомиздат, 1982. Электрические системы. Электрические сети /Под ред. В.А. Веникова и В.А. Строева. М.: Высш. шк., 1998.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Веников В.А., Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Крючков И.П. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
6. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высш. шк., 1978.
7. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1984.
8. Овчаренко Н.И. Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем. М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000.
9. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем /Под ред. А.Ф. Дьякова. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
10. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики). - М.: Высшая школа, 1984.
11. Электрические сети и системы. Математические задачи электроэнергетики. /Под ред. В.А. Веникова. М.: Высш. шк., 1981.
12. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах надежности систем электроснабжения. М.: Энергоатомиздат, 1985.
13. Методы оптимизации режимов энергосистем/ Под ред. В.М. Горнштейна. М.: Энергоиздат, 1981.
14. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. М.: Высш. шк., 1983.
15. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях. /Под ред. В.А. Веникова. М.: Энергоатомиздат, 1983.

16. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. М.: Энергоатомиздат, 1985.
17. Дальние электропередачи в примерах / Г.К. Зарудский, Е.В. Путятин и др. М.: Изд-во МЭИ, 1994.
18. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. М.: Энергоатомиздат, 1990.
19. Васин В.П., Старшинов В.А. Электрическая часть атомных электростанций. М.: Изд-во МЭИ, 2005.
20. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002.
21. Переходные процессы в электроэнергетических системах/ И.П.Крючков, В.А.Старшинов, Ю.П.Гусев, М.В.Пираторов; под ред. И.П.Крюčkова. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
22. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М.: Энергия. 1979.
23. Филиппова Т.А. Энергетические режимы электрических станций и электроэнергетических систем. Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2005.
24. Экспериментальные исследования режимов энергосистем/ Под ред. С.А. Совалова. М: Энергоатомиздат, 1985.
25. Портной М.Г., Рабинович Р.С. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. М.: Энергия, 1975.
26. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. М: Изд-во МЭИ, 2000.
27. Алексеев О.П., Козис В.Л., Кривенков В.В. Автоматизация электроэнергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1994.
28. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.

## **РАЗДЕЛ 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**

### **5.1. Гидравлика и аэродинамика**

Закон Бернулли. Связь статического давления и динамического напора. Уравнение неразрывности. Истечение из отверстий. Сжимаемость сред. Местные и линейные сопротивления.

### **5.2. Термодинамика**

**I и II** Законы термодинамики. Внутренняя энергия; работа расширения. Энтропия. Обратимые и необратимые процессы. Газовые законы. Параметры состояния. Термодинамические процессы. Истечение газов. Дросселирование газов.

### **5.3. Теплопередача**

Виды теплообмена. Приложение переноса тепла теплопроводностью к техническим процессам. Уравнение теплопереноса теплопроводностью. Тепловой поток.

Конвективный теплообмен. Теория подобия. Закономерности конвективного теплообмена при обтекании поверхностей. Методы интенсификации конвективного теплообмена. Температурный напор. Уравнение теплопередачи. Лучистый теплообмен. Основные законы теплообмена излучением. Излучение твердых тел. Излучение газов. Действие экранов. Методы интенсификации теплообмена излучением.

### **5.4. Тепловой баланс**

Методы составления. Задачи составления тепловых балансов. Показатели использования тепловой энергии.

### **5.5. Газовое топливо**

Свойства газового топлива. Теплофизические характеристики газов. Материальный баланс процесса горения газового топлива. Понятие температуры горения. Достоинства газового топлива.

Техника сжигания газа. Газовые топки и горелки. Классификация горелок. Факел кинетический и диффузионный. Тепловые напряжения. Полнота сгорания. Влияние подогрева дутья на параметры горения.

Основы аэродинамики свободных струй. Подобие полей скоростей и концентраций. Закон сохранения массы. Уравнение импульсов.

Диффузионные явления в газовых потоках. Молекулярная и турбулентная диффузия. Устойчивость процесса горения газового топлива. Проскок и отрыв пламени. Принципы стабилизации газового пламени.

Роль природного газа в сжигании вредных выбросов в воздушный бассейн. Основные загрязняющие компоненты, образующиеся при сжигании газового топлива. Методы снижения вредных выбросов в атмосферу. Выбор параметров газа и воздуха для горелок. Правила подбора метода сжигания газа.

### **5.6. Теплообменные аппараты**

Классификация. Регенеративные и рекуперативные теплообменники. Задачи расчета. Методы оптимизации теплообменных аппаратов.

### **5.7. Промышленные печи**

Классификация. Прямые и косвенные методы нагрева. Задачи составления тепловых балансов. Методы повышения эффективности тепловой работы печей. Показатели эффективности работы печей.

### **5.8. Системы теплоснабжения**

Котлы паровые и водогрейные. Тепловой баланс, к.п.д. котла. Системы централизованного и децентрализованного теплоснабжения. Местные системы отопления. Пути энергосбережения в системах теплоснабжения.

### **5.9. Дополнительные (специальные) вопросы**

Термохимия Закон Гесса. Уравнение Кирхгофа. Химическое равновесие. Второй закон термодинамики. Константа равновесия и степень диссоциации. Тепловой закон Нернста.

Аэродинамические основы процессов сжигания газового топлива. Общие свойства турбулентных потоков. Количественные характеристики турбулентности. Турбулентная диффузия. Модели горения.

Сложный теплообмен. Методы расчета конвективного теплообмена в технических приложениях. Радиационный теплообмен. Особенности радиационного теплообмена в газовых средах.

Светимость газового факела. Термическое разложение углеводородов. Факторы влияющие на светимость и сажеобразование.

Технические приемы управления теплообменом в движущихся потоках.

Повышение энергетической эффективности теплообменных процессов и установок. Принципы термохимической регенерации физической теплоты отходящих продуктов сгорания. Разработка научных основ получения комбинированных теплоносителей.

### **Список рекомендуемой литературы**

1. Основы практической теории горения /В.В.Померанцев и др. Л.: Энергия 1973.
2. Математическая теория горения и взрыва/ Я.Б. Зельдович и др. — М.: Наука, 1980
3. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Парогенераторы промышленных предприятий, М.. Энергия, 1977.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод).М.: Энергия, 1973.
5. Черкасский В.М., Романова Т.М., Кауль Р.А. Насосы, компрессоры, вентиляторы. М.: Энергия, 1968.
6. Щукин А.А. Промышленные печи и газовое хозяйство заводов. М.: Энергия, 1973.
7. Промышленные теплообменные процессы и установки /А.М. Бакластов и др. М.: Энергоатомиздат, 1986.
8. Теплоэнергетика и теплотехника, кн. 1. Справочник под редакцией А.В. Клименко и В.М. Зорина - М.: изд-во МЭИ, 2000.
9. Теплоэнергетика и теплотехника, кн. 2. Справочник под редакцией А.В. Клименко и В.М. Зорина-М.: изд-во МЭИ, 2001.
10. Теплоэнергетика и теплотехника, кн. 4. Справочник под редакцией А.В. Клименко и В.М. Зорина - М.: изд-во МЭИ, 2004.

11. Теория тепломассообмена/ Под ред. А.И.Леонтьева.М.: Изд-во МГТУ, 1997.
12. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: изд-во МЭИ, 2001
13. Газоснабжение/ под Ред. А.А. Ионина, высш. Школа, 2011.
14. Комплексное энерготехнологическое использование газа и охрана воздушного бассейна, М.: Дело, 1997.
15. Основы современной энергетики., ч.2 под ред. А.П. Бурмана и В.А. Строева, изд-во МЭИ, 2003.
16. О.Л. Данилов, В.А. Мунц. Использование вторичных энергетических ресурсов, изд-во УГТУ-УПМ, Екатеринбург, 2008
17. В.Е. Фролов, О.С. Попель. Энергетика в современном мире - Долгопрудный, изд. дом «Интеллект», 2011
18. Касилов В.Ф. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков.М.: Из-во МЭИ, 2000.

## РАЗДЕЛ 6. ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ

### 6.1. Энергетические ресурсы, типы электростанций, технико-экономические показатели

Энергетика и типы электростанций.

Энергетические ресурсы.

Потребление энергии и графики нагрузок.

Состав теплового хозяйства ТЭС.

Технико-экономические требования к ТЭС.

Энергетические показатели конденсационной электростанции.

Основные составляющие абсолютного КПД станции.

Расходы пара, теплоты и топлива на КЭС.

Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии на ТЭЦ. Применение турбин типа Р, Т, ПТ.

Энергетические показатели теплоэлектроцентрали.

Расходы пара и теплоты на теплофикационные турбины.

КПД ТЭЦ по производству электроэнергии и теплоты.

Тепловая экономичность и расход топлива на ТЭЦ.

Влияние начальных параметров пара на тепловую экономичность конденсационных турбин.

Влияние конечных параметров пара на тепловую экономичность ТЭС.

Промежуточный перегрев пара. Особенности промежуточного перегрева пара на ТЭЦ.

Влияние начальных параметров пара на тепловую экономичность теплофикационных турбин.

### 6.2. Водоподготовка

Показатели качества воды.

Способы предварительной очистки исходной воды.

Состав отложений, образующихся на поверхностях нагрева.

Условия образования накипных отложений, методы глубокого умягчения воды.

Методы глубокого обессоливания воды, виды и формы коррозии металла, условия протекания коррозии металла.

Способы удаления агрессивных газов из воды.

Методы расчета оборудования ХВО.

Жесткость воды, щелочность, кислотность, прозрачность, солесодержание.

Схема ХВО. Определение показателей качества воды, расчет схем ХВО.

### 6.3. Котельные установки

Преобразование химической энергии топлива в потенциальную энергию пара.

Устройство и принципы работы энергетических и водогрейных котлов, история их развития.

Теплообмен в топке и газоходах котла.

Гидродинамика пароводяного тракта.

Аэродинамика газоздушного тракта.

Компоновка и тепловой расчет котельных агрегатов.

Водный режим котлов.

Поверхности нагрева.

Регулирование температуры перегретого пара.  
Трубопроводы, арматура, гарнитура, металл котельных агрегатов.

#### **6.4. Теплообменники энергетических установок**

Классификация теплообменных аппаратов.  
Тепловой расчет теплообменных аппаратов. Общие положения.  
Тепловой расчет теплообменных аппаратов рекуперативного типа.  
Водо-водяные теплообменники с движением воды.  
в трубах и вдоль трубных пучков в межтрубном пространстве.  
Водо-водяные теплообменники с поперечно-продольным движением воды в межтрубном пространстве.  
Пароводяные теплообменники с вертикальным трубным пучком.  
Пароводяные теплообменники с горизонтальным трубным пучком.  
Тепловой расчет вращающихся регенеративных воздухоподогревателей энергетических котлов.  
Тепловой расчет конденсационного теплообменника контактного типа.  
Тепловой расчет конденсационного теплообменника поверхностного типа.  
Гидравлическое сопротивление теплообменного аппарата.  
Конденсационная установка ПТУ. Конденсатор, устройство, методы теплового и гидравлического расчета.  
Испарители и смесительные теплообменники.

#### **6.5. Паротурбинные установки электростанций**

Энергетические машины как элементы энергетических установок, их основные экономические показатели.  
Ступени турбомашин, их типы, характеристики и методы расчета.  
Многоступенчатые турбины.  
Расчет и оптимизация группы ступеней.  
Предельные мощности турбин.  
Уплотнения, патрубки, регулирующие клапаны.  
Оценка КПД многоступенчатых турбин.  
Конструкции турбин различных типов.  
Устройство, принцип действия и определение характеристик центробежных и осевых насосов, компрессоров, вентиляторов.  
Струйные насосы и термонасосы.  
Исходные данные для проектирования турбин разного назначения.  
Выбор основных параметров и элементов конструкций турбин: частоты вращения, числа валов и цилиндров, типы парораспределения и числа ступеней.  
Технология обработки основных деталей.  
Влияние охлаждения на процессы и параметры турбин.

#### **6.6. Принципиальные тепловые схемы ТЭС и энергоблоков**

Принципиальная тепловая схема паротурбинной электростанции.  
Содержание, основы составления и примеры принципиальной схемы КЭС.  
Методика расчета принципиальной тепловой схемы КЭС.

Методика расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ.  
Пример расчета принципиальной тепловой схемы ТЭЦ.  
Выбор основного оборудования электростанции.  
Выбор мощности электростанции и единичной мощности паровых котлов и турбин.  
Выбор вспомогательного оборудования электростанции.  
Полная (развернутая) тепловая схема и трубопроводы ТЭС.  
Основные сведения и характеристики трубопроводов ТЭС.  
Арматура и тепловая изоляция трубопроводов.

### **6.7. Компоновка главного корпуса и генплан ТЭС, системы обеспечения работы**

Компоновка главного корпуса и генеральный план электростанции.  
Общая характеристика компоновки и требования к ней.  
Типы компоновок турбинного и котельного оборудования.  
Компоновка главного корпуса пылеугольных электростанций.  
Техническое водоснабжение. Потребление воды на ТЭС.  
Источники и системы водоснабжения.  
Прямоточные и оборотные системы технического водоснабжения.  
Топливное хозяйство ТЭС. Общие положения.  
Принципиальная схема топливного хозяйства ТЭС на твердом топливе. Склады топлива.  
Мазутное хозяйство ТЭС. Оборудование и схема мазутного хозяйства.  
Газовое хозяйство ТЭС. Схема газового хозяйства и его оборудование.

### **6.8. Паротурбинные и газотурбинные установки**

Выбор параметров пара, питательной воды и схемы регенерации ПТУ для ТЭС и АЭС.  
Расчеты тепловой схемы; выбор типа парораспределения, числа цилиндров.  
Оценка числа ступеней.  
Расчет и проектирование ступеней различных типов.  
Ступени с длинными лопатками.  
Расчет и проектирование стопорных и регулирующих клапанов, выхлопных патрубков, уплотнений.  
Осевые усилия и их уравнивание.  
Особенности и требования при проектировании влажнопаровых, теплофикационных и других типов паровых турбин.  
Выбор схемы и конструкции ГТУ в зависимости от назначения и условий эксплуатации; пиковые, полупиковые, базовые ГТУ.  
Турбины для привода нагнетателей и транспортные ГТУ.  
Основные экономические показатели: экономичность, надежность, ресурс работы, приемистость, капитальные затраты и др.  
Требования к ГТУ различных типов.  
Основные особенности проектирования газовой турбины, компрессора, камеры сгорания.

## 6.9. Парогазовые установки (ПГУ) тепловых электростанций

Классификация ПГУ, их преимущества и недостатки.

Утилизационные ПГУ (ПГУ-У).

ПГУ со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел.

ПГУ с высоконапорным парогенератором (ПГУ с ВПГ).

ПГУ с «вытеснением» регенерации.

Цикл ПГУ с газовым регенеративным подогревателем.

Цикл ПГУ с котлом-утилизатором (ПГУ-У).

ПГУ с двухконтурным котлом-утилизатором.

ПГУ с трехконтурным котлом-утилизатором.

Принципиальная схема одновальной ПГУ.

Парогазовые ТЭС с котлами, работающими на бытовых отходах.

## 6.10. Защита окружающей среды от вредных выбросов ТЭС

Биосфера и человек: структура биосферы, экосистемы, взаимоотношения организма и среды, экология и здоровье человека.

Глобальные проблемы окружающей среды, экологические принципы рационального использования природных ресурсов и охраны природы.

Снижение выбросов частиц золы в атмосферу. Гидрозолоудаление на пылеугольной ТЭС. Золоотвалы.

Защита водоемов от загрязнения сточными водами системы ГЗУ.

Снижение выбросов оксидов азота и соединений серы в атмосферу.

Сокращение выбросов водяного пара и парниковых газов в атмосферу.

### Список рекомендуемой литературы

1. Абрамов А.И. Повышение экологической безопасности тепловых электрических станций: учеб.пособие / А.И. Абрамов, Д.П. Елизаров, А.С. Седлов и др. / под ред. А.С. Седлова. М.: Изд-во МЭИ, 2001. 389 с.
2. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок / А.А. Александров. – М.: МЭИ, 2006. – 258 с.
3. Дорохов Е.В. Основы проектирования тепловой схемы энергоблоков ТЭС на сверхкритических параметрах / Е.В. Дорохов, А.С.Седлов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 157 с.
4. Буров В.Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др./ Под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. – М.: МЭИ, 2005. – 454 с.
5. Костюк А.Г. Турбины тепловых и атомных электрических станций / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний. – М.: МЭИ, 2001. – 488 с.
6. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. М: Энергия, 1983.
7. Копылов А.С. Водоподготовка в энергетике / А.С. Копылов, В.М. Лавыгин, В.Ф. Очков. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 309 с.
8. Крупнов В.И. Техническая термодинамика / В.И. Крупнов, С.И. Исаев, И.А. Кожинов и др. – М.: Высш. шк., 1991. – 384 с.
9. Кудинов А.А.Техническая гидромеханика. Учеб.пособ. для вузов. М.: Машиностроение, 2008. 368 с.

10. Кудинов А.А. Гидрогазодинамика. Учеб.пособ. для вузов. М.: ИНФРА-М, 2011. 336 с.
11. Кудинов А.А. Теплообмен. Учеб.пособ. для вузов. М.: ИНФРА-М, 2012. 375 с.
12. Кудинов А.А. Тепловые электрические станции. Схемы и оборудование. Учеб.пособ. для вузов. М.: ИНФРА-М, 2012. 325 с.
13. Кудинов А.А. Строительная теплофизика. Учеб.пособ. для вузов. М.: ИНФРА-М, 2013. 262 с.
14. Кудинов А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. М.: Машиностроение, 2011. 374 с.
15. Кудинов А.А. Горение органического топлива. Учеб.пособ. для вузов. / А.А. Кудинов. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 350 с.
16. Кудинов А.А. Парогазовые установки тепловых электрических станций. Учебное пособие / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. Самара: СамГТУ, 2014. 210 с.
17. Кудинов А.А. Основы централизованного теплоснабжения. / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. Самара: СамГТУ, 2015. 176 с.
18. Кудинов А.А. Энергосбережение в котельных установках ТЭС и систем теплоснабжения. / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. М.: ИНФРА-М, 2016. 320 с.
19. Мошкарин А.В. Анализ перспектив развития отечественной теплоэнергетики / А.В. Мошкарин, М.А. Девочкин, Б.Л. Шельгин, В.С. Рабенко. – Иваново: Иван.гос. энерг. ун-т, 2002. – 256 с.
20. Назмеев Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. М.: Издательство МЭИ, 2005. 260 с.
21. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. РД 34.20.501-95. М.: СПО ОРГРЭС, 2004.
22. Рихтер Л.А. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций / Л.А. Рихтер, Д.П. Елизаров, В.М. Лавыгин. М.: Энергоатомиздат, 1987. 216 с.
23. Росляков П.В. Методы защиты окружающей среды / П.В. Росляков. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 336 с.
24. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 416 с.
25. Трубилов М.А. Паровые и газовые турбины: учебник для вузов / М.А. Трубилов, Г.В. Арсеньев, В.В. Фролов и др. / Под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
26. Трухний А.Д. Основы современной энергетики. Ч. 1. Современная теплоэнергетика / А.Д. Трухний, А.А. Макаров, В.В. Клименко. – М.: МЭИ, 2002. – 368 с.
27. Трухний А.Д. Расчет тепловых схем утилизационных парогазовых установок: учеб.пособие / А.Д. Трухний, А.А. Романюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 40 с. – ISBN 5-903072-79-8.
28. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов. – М.: МЭИ, 2009. – 584 с.
29. Цанев С.В. Газотурбинные энергетические установки / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С.Осыка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с.
30. Consonni S., Silva P., Off-design performance of integrated waste-to-energy, combined cycle plants / Applied Thermal Engineering 27. – 2007. – P. 712-721.