

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «НИУ  
«МЭИ» по научной работе  
Драгунов В.К.

---

ПОДПИСЬ

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

**ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В  
АСПИРАНТУРУ**

**Направление – 13.06.01, Электро- и теплотехника**

---

код, название

Москва, 2019

### **1. Основы электродинамики**

Электростатика. Закон Кулона. Теорема Гаусса. Проводники в электрическом поле. Работа электрических сил, потенциал электрического поля. Уравнение Пуассона и Лапласа. Потенциал объемных и поверхностных зарядов. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Свободные и связанные заряды. Уравнение электрического поля в произвольной среде. Пондермоторные силы в диэлектриках. Энергия электрического поля в диэлектриках. Тензор напряжений электрического поля. Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.

Магнитостатика. Магнитное поле постоянных токов. Сила Лоренца. Векторный потенциал магнитного поля. Уравнения магнитного поля. Потенциальные и соленоидальные магнитные поля. Граничные условия в магнитном поле токов. Магнитное поле в веществе. Намагниченность магнитов. Уравнения макроскопического магнитного поля в магнетиках. Диамагнетизм. Парамагнетизм. Ферромагнетизм.

Электромагнитное поле в неподвижной среде. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Теорема Пойнтинга. Уравнение для потенциалов электромагнитного поля. Решение волнового уравнения. Скорость распространения электромагнитных возмущений. Квазистационарное электромагнитное поле. Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Скин-эффект. Распространение электромагнитного поля в волноводах. Критическая длина волны. Фазовая и групповая скорости. Дисперсия. Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

Излучение заряженных частиц. Условия излучения в неограниченном пространстве. Поле излучения системы зарядов. Волновая зона. Дипольное излучение осциллятора. Излучение релятивистской частицы. Магнитотормозное излучение. Переходное излучение. Черенковское излучение электромагнитных волн в среде.

Численные методы решения краевых задач электродинамики. Метод конечных разностей. Метод конечных элементов.

### **2. Основы теории электрических цепей**

Линейные цепи. Методы расчета линейных электрических цепей в стационарном режиме. Уравнения Кирхгофа. Метод комплексных амплитуд. Метод контурных токов. Метод узловых напряжений. Метод эквивалентного генератора. Цепи с зависимыми источниками. Цепи с взаимными индуктивностями.

Методы расчета линейных цепей в нестационарных режимах. Классический метод. Операторный метод (преобразование Лапласа). Метод переменных состояний. Спектральный метод (преобразование Фурье).

Интеграл Дюамеля. Цепные схемы, передаточные функции. Обратная связь, электрические фильтры.

Цепи с распределенными параметрами. Длинные линии. Телеграфные уравнения. Решение телеграфных уравнений в стационарном режиме. Падающие и отраженные волны. Распределение токов и напряжений в линии. Входное сопротивление линии. Согласование длинных линий. Решение телеграфных уравнений в нестационарном режиме. Переходные процессы при коммутации предварительно заряженных линий.

Нелинейные цепи. Методы расчета нелинейных цепей постоянного тока. Метод условной линеаризации. Графические методы – лестничная структура, схемы с двумя узлами. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Трансформатор с ферромагнитным сердечником. Цепи с ферромагнетиками. Феррорезонанс.

Методы расчета нелинейных цепей в нестационарном режиме. Метод интегрируемой аппроксимации. Метод кусочно-линейной аппроксимации. Метод медленно меняющихся амплитуд. Метод малого параметра. Метод интегральных уравнений. Вариационные методы. Цепи с инерционными элементами, параметрические цепи.

### **3. Строение вещества**

Газы. Основы кинетической теории газов. Давление газа, уравнение состояния идеального газа. Распространение звуковых волн в идеальном газе. Плазма. Основные понятия. Кинетическая теория плазмы, распределение частиц по скоростям, эффективные сечения и частоты столкновений. Жидкости. Макроскопические свойства жидкостей. Силы взаимодействия молекул. Явление переноса в жидкостях. Твердые тела. Кристаллическая решетка. Силы связи в решетке. Электронный газ, модель потенциальной ямы Шоттки. Зонная модель. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Работа выхода. Явление сверхпроводимости.

### **4. Вещество в сильном электромагнитном поле**

Эмиссия заряженных частиц с поверхности вещества. Термоэмиссия, автоэлектронная эмиссия, фотоэмиссия, вторичная электронная эмиссия, взрывная эмиссия, ионная эмиссия.

Газовый разряд. Формы разряда в газах. Самостоятельный и несамостоятельный разряды. Лавинный разряд. Закон Пашена. Стримерная форма разряда, переход от стримера к канальной форме разряда. Коронный и тлеющий разряды. Дуговой разряд. Изоляционные свойства газовых диэлектриков. Сильноточный газовый разряд в плотных средах.

Прохождение тока через жидкость. Проводимость электролитов. Топливные элементы. Технический электролиз. Проводимость жидких изоляторов. Диэлектрические потери.

Проводники, твердые диэлектрики, полупроводники в сильных полях.  
Проводимость. Криопроводимость. Сверхпроводимость. Эффект Холла.  
Термоэлектричество.

### **Основная литература**

1. Теоретический курс физики в 10 томах. Т. 2 Теория поля. Т. 5 Электродинамика сплошных сред / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Под ред. Л.П. Питаевского. М.: Физматгиз, 2001.
2. Демирчян К.С., Чечурин В.А. Машинные расчеты электромагнитных полей. М.: Высш. шк., 1986.
3. Бутырин П.А., Козьмина И.С., Миронов И.В. Основы компьютерных технологий электротехники. М.: Изд-во МАИ, 2000.
4. Зельдович И.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
6. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т. 1–4 / Под ред. В.Е. Фортова. М.: Наука, 2000.

### **Дополнительная литература**

1. Физика и техника мощных импульсных систем / Под ред. Е.П. Велихова. М.: Энергоатомиздат, 1987.
2. Оран Э., Борис Дж. Численное моделирование реагирующих потоков. М.: Мир, 1990.
3. Коротаев А.С., Миронов В.М., Свирчук Ю.С. Плазмотроны. Конструкции, характеристики, расчет. М.: Машиностроение, 1993.

**2. Направленность – 05.04.03, Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения**

---

шифр, название

**Раздел I. Термодинамика**

*Первый закон термодинамики*

Внутренняя энергия. Теплоперенос и совершение работы – два способа изменения внутренней энергии тела. Обобщенные силы и координаты. Энтальпия, аналитические выражения и формулировки первого закона термодинамики. Уравнение первого закона термодинамики для процессов в объеме и стационарном потоке.

*Второй и третий законы термодинамики*

Процессы обратимые и необратимые. Термодинамические циклы. Квазициклы и разомкнутые процессы. Коэффициенты преобразования для прямых и обратных циклов. Термический КПД прямого цикла. Обратимые и необратимые циклы. Внешняя и внутренняя необратимость. Цикл Карно. Теорема Карно. Формулировки второго закона термодинамики. Энтропия. Энтропийные диаграммы состояния. Каскадные и регенеративные циклы. Возрастание энтропии в необратимых процессах. Термодинамическая шкала температур. Объединенное уравнение второго и первого законов термодинамики для систем в объеме и в потоке. Энтропия и термодинамическая вероятность. Эксергия. Виды эксергии. Эксергетический баланс системы. Эксергетический КПД.

Тепловая теорема Нернста. Энтропия при абсолютном нуле температур. Следствия из теоремы Нернста. Недостижимость абсолютного нуля.

*Дифференциальные уравнения термодинамики*

Свойства полного дифференциала функции состояния. Уравнения Максвелла. Частные производные внутренней энергии и энтальпии. Связь между термическими и основными калорическими величинами. Частные производные теплоемкостей. Связь между изобарной и изохорной теплоемкостями.

Расчет термодинамических свойств веществ по термическому уравнению состояния.

*Равновесие термодинамических систем и фазовые переходы*

Гомогенные и гетерогенные термодинамические системы. Термодинамическое равновесие. Критерии термодинамического равновесия при различных условиях взаимодействия системы с внешней средой. Характеристические функции, Изохорно-изотермический и изобарно-изотермический потенциал. Уравнения Гиббса-Гельмгольца. Химический потенциал, объединенное уравнение первого и второго законов

термодинамики для систем с переменным количеством вещества. Условия устойчивости и равновесия в изолированной системе.

Фазовые переходы в индивидуальных веществах и в растворах. Условия фазового равновесия, правило фаз Гиббса. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.

#### *Термодинамические свойства веществ*

Реальные вещества как конденсирующиеся системы. Открытие Эндрюсом и Д.И. Менделеевым критической температуры. Фазовые диаграммы. Тройная и критическая точки, термические и калорические свойства твердых тел, жидкостей и газов. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вириальное уравнение состояния, термодинамические свойства индивидуальных веществ на линиях фазовых переходов. Двухфазные системы, переход через двухфазную область. Стабильные и метастабильные состояния. Свойства веществ в критической точке.

Термодинамическое подобие веществ, принцип соответственных состояний. Параметры приведения. Обобщенные диаграммы и уравнения состояния для групп веществ, применение обобщенных диаграмм для малоисследованных веществ.

#### *Термодинамика стационарного потока*

Дросселирование. Эффект Джоуля-Томсона. Кривая инверсии, Адиабатное расширение реального газа с производством работы. Эффект Джоуля. Эксергетический КПД процессов расширения в дросселе и детандере. Процесс сжатия в адиабатных и неадиабатных условиях. Работа сжатия. Эксергетический КПД процессов сжатия.

#### *Специальные вопросы термодинамики*

Фазовые переходы при неодинаковых давлениях фаз. Уравнение Пойнтинга. Фазовые переходы при искривленных поверхностях раздела. Уравнение Лапласа. Фазовые переходы второго рода. Уравнение Эренфеста.

Равновесие термодинамических систем, совершающих помимо работы расширения другие виды работы. Условия равновесия в изолированной однородной системе.

Магнетики. Общие сведения. Основные термодинамические соотношения для магнетиков. Термодинамические процессы в магнетиках. Магнитокалорический, магнитострикционный и магнитоупорный эффекты. Прямой и обратный магнитокалорические циклы.

Диэлектрики. Основные термодинамические соотношения и процессы. Электрокалорический, электрострикционный эффекты, прямой и обратный электрокалорические циклы.

## **Раздел II. Теория тепло- и массопереноса**

### *Теплопроводность*

Основные положения теории теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности, механизм теплопроводности в газах, жидкостях и твердых телах. Дифференциальное уравнение

теплопроводности. Условия однозначности. Классификация процессов теплопроводности.

Теплопроводность при стационарном режиме, методы расчета переноса тепла в сложных системах. Расчет передачи тепла вдоль стержней и ребер.

Теплопроводность при нестационарном режиме. Классификация нестационарных процессов. Анализ нагрева (охлаждения) полуограниченного массива, пластины, цилиндра и шара. Основы теории регулярного теплового режима. Температурные волны и периодические тепловые процессы. Принципы моделирования процессов теплопроводности.

#### *Конвективный теплообмен*

Классификация и характеристика процессов конвективного теплообмена. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Основные понятия и соотношения теории пограничного слоя.

Теплообмен при внешнем обтекании тел. Анализ гидродинамики и теплообмена при продольном обтекании пластины на основе соотношений теории пограничного слоя. Расчет теплоотдачи при ламинарном движении теплоносителя в пограничном слое. Теплоотдача пластины при турбулентном пограничном слое. Аналогия Рейнольдса и ее современные модификации.

Теплоотдача в трубах и каналах. Анализ теплообмена при ламинарном режиме движения. Начальный тепловой участок и зона стабилизации теплообмена. Закономерности теплообмена при турбулентном течении.

Теплообмен при естественной (свободной) конвекции. Условие отсутствия естественной конвекции. Анализ теплообмена на основе соотношений теории пограничного слоя. Основные закономерности при ламинарном режиме для вертикальных пластин и горизонтальных труб. Теплоотдача при турбулентном движении теплоносителя в пристенном слое. Анализ процесса естественной конвекции в узких зазорах, методы расчета.

Закономерности теплообмена при поперечном обтекании труб и пучков труб. Основные особенности теплообмена при высоких скоростях движения теплоносителя. Специфика теплообмена жидких металлов. Закономерности теплообмена в сверхкритической области состояния вещества.

Основы теории подобия и моделирования. Свойства подобных процессов. Критерии подобия и уравнения подобия. Обобщение экспериментальных данных и методы моделирования процессов конвективного теплообмена. Теория размерностей.

#### *Теплообмен излучением*

Основные понятия и законы. Спектр излучения черного тела - закон Планка. Интегральное излучение черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Излучательная способность и степень черноты. Закон Кирхгофа. Интенсивность излучения и закон Ламберта.

Теплообмен излучением в диатермической среде. Перенос тепла в системе, ограниченной серыми поверхностями. Теплообмен излучением между произвольно расположенными в пространстве поверхностями.

Тепловое излучение газов. Особенности излучения и поглощения. Основное уравнение переноса лучистой энергии в поглощающей среде.

Спектральная и интегральная степень черноты объема газа. Метод расчета лучистого теплообмена между газовым объемом и поверхностью твердого тела.

Сложный теплообмен как совокупность процессов теплопроводности, конвекции и излучения.

#### *Теплообмен при фазовых превращениях*

Общие положения. Классификация процессов фазовых превращений. Соотношения баланса полных потоков вещества, импульса и энергии на границе раздела фаз при фазовых переходах. Молекулярно-кинетическая интерпретация процессов фазового превращения.

Теплообмен при конденсации пара. Пленочный и капельный режимы конденсации. Теория Нуссельта и ее последующие уточнения. Теплообмен при турбулентном режиме течения конденсатной пленки. Особенности конденсации пара внутри труб.

Теплообмен при кипении жидкости. Режимы кипения. Механизм и теплоотдача при пузырьковом режиме кипения. Гидродинамическая теория первого кризиса кипения, механизм и теплоотдача при пленочном режиме кипения. Второй кризис процесса кипения.

Особенности теплообмена при плавлении и сублимации. Упрощенные схемы процессов. Анализ условий переноса тепла и закономерности теплообмена.

#### *Процессы тепло- и массообмена*

Классификация процессов тепло- и массообмена. Закон Фика. Коэффициент диффузии, механизм диффузии в газах и жидкостях, молекулярный перенос энергии в бинарных системах.

Система дифференциальных уравнений конвективного тепло- и массообмена. Граничные условия на проницаемых поверхностях, диффузионный пограничный слой.

Закономерности совместного переноса массы, импульса и энергии. Анализ процессов переноса на основе соотношений теории пограничного слоя. Аналогия процессов переноса массы, импульса и энергии (тройная аналогия).

Влияние поперечного потока вещества на интенсивность процессов переноса. Приближенный расчет процессов теплообмена, массообмена и трения в условиях значительных поперечных потоков. Основные закономерности и соотношения.

### **Раздел III. Основы криофизики**

#### *Принципы физики конденсированных систем*

Параметры конденсированного тела. Параметр взаимодействия. Параметр де Бройля. Концепция элементарных возбуждений. Энергетический спектр конденсированного тела. Кристаллическая решетка. Коллективные колебания кристаллической решетки. Фононы. Акустические и оптические фононы.



Теплоемкость кристаллической решетки. Модель Дебая. Плавление конденсированного тела. Критерий Линдемана. Теплопроводность кристаллической решетки (диэлектрики). Электроны в конденсированном теле. Электроны как квазичастицы. Теорема Блоха. Статистика и термодинамика электронов в конденсированном теле. Теплоемкость электронов. Зонная структура конденсированных тел.

#### *Основы физики сверхпроводимости*

Основные опытные факты. Тепловые свойства сверхпроводников. Феноменологические теории сверхпроводимости: Термодинамическая теория Гортера-Казимира. Двухжидкостная модель Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Два типа сверхпроводников. Сверхпроводники I рода в магнитном поле. Промежуточное состояние. Сверхпроводники II рода в магнитном поле: смешанное состояние, квантование магнитного потока и вихри Абрикосова. Резистивное состояние сверхпроводников и пиннинг. Жесткие сверхпроводники. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

#### *Элементы физической кинетики*

Основные понятия и определения: потенциалы взаимодействия, функция распределения молекул газа по скоростям, моменты функции распределения. Связь микроскопического и макроскопического уровней описания. Кинетическое уравнение Больцмана. Основные допущения при выводе. Моменты интеграла столкновений. H-функция и H-теорема. Постановка задачи для уравнения Больцмана. Методы решения кинетического уравнения Больцмана. Решение линеаризованной одномерной стационарной задачи о переконденсации. Получение выражения для плотности потока массы  $j$ . Его асимптотики. Решение одномерной стационарной линеаризованной задачи о теплопереносе через слой разреженного газа. Выражение для теплового потока  $q$ . Его асимптотики. Кинетическое описание задач интенсивного испарения и конденсации.

#### *Криовакуумная техника*

Преимущества и недостатки безмасляных средств вакуумной откачки. Характеристики традиционных сорбентов. Криооткачка трудноконденсируемых газов на слоях десублиматов. Откачка смесей трудноконденсируемых газов. Форвакуумная криооткачка.

Использование вакуумной техники и технологии в установках управляемого термоядерного синтеза, имитаторах космического пространства, установках для исследований в области физики твердого тела.

#### *Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в HeII*

Гелий – квантовая жидкость. Опытные факты и наблюдения. Термомеханический и механотермический эффекты в He-II. Соотношение Лондона. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау : допущения (предположения) и математическое описание. Распространение звука в He-II. Система уравнений, описывающая это явление. Скорость первого и второго звука. Изменение давления и температуры в монохроматической волне 1-го и 2-го звука. Третий и четвертый звуки. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Физическая постановка и математическое описание. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Предельные значения. Зависимость от коэффициента конденсации. Коэффициент проницаемости границы раздела фаз.

Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II. Режим сопротивления П.Л.Капицы. Описание стационарного теплопереноса в He-II при ламинарном движении нормальной компоненты. Вывод уравнения, описывающего стационарный теплоперенос в He-II на основе уравнений двухскоростной гидродинамики. Критические скорости в He-II. Сила взаимного трения Гортера-Меллинка. Физическая сущность. Качественный вывод выражения для силы. Расчет теплопереноса с учетом взаимного трения компонент сверхтекучего гелия. Расчет «восстановительного» теплового потока в He-II. Физическая постановка. Математическое описание. Результаты для цилиндрических нагревателей малого и большого диаметров.

Сверхтекучесть и бозе-конденсация. Расчет температуры начала бозе-конденсации.

#### *Физические основы охлаждения и получения низких температур*

Термомеханические эффекты. Изэнтропное расширение. Дросселирование сжатого газа. Эффект Джоуля-Томпсона. Расширение из постоянного объема. Десорбционное охлаждение. Охлаждение с помощью откачки паров.

Магнитное охлаждение. Механокалорический эффект. Свойства парамагнитных солей. Адиабатное размагничивание. Ядерное размагничивание. Магнито- и электрокалорические методы охлаждения. Намагничивание сверхпроводников.

### **Раздел IV. Механика двухфазных потоков**

#### *Основы механики двухфазных систем*

Общая формулировка законов сохранения. Интегральная и дифференциальная формы. Законы сохранения массы, импульса, энергии для чистых веществ и бинарных смесей. Взаимодействие на границе раздела фаз: скорость движения границы раздела фаз, универсальные и специальные условия совместности.

#### *Механика простых газожидкостных структур*

Установившиеся движения дискретных частиц в жидкости. Особенности анализа простых газожидкостных структур, математическое описание. Предельные случаи при больших и малых числах Рейнольдса.

Потенциальное течение жидкости. Уравнение Лапласа для идеальной несжимаемой жидкости. Потенциал скоростей для обтекания сферы идеальной жидкостью. Парадокс Даламбера. Обтекание сферы вязкой жидкостью при малых числах Рейнольдса. Формула Стокса.

Неустановившееся движение газовой полости в жидкости. Уравнение Рэлея для расширяющейся газовой полости, его динамическая и энергетическая формы. Закономерности роста паровых пузырьков в объеме перегретой жидкости, анализ предельных схем.

#### *Двухфазные адиабатные потоки в каналах*

Режимы течения двухфазных потоков. Кинематические модели для пузырькового, снарядного и эмульсионного режимов течения. Расчет истинного объемного паросодержания. Уравнение движения одномерного двухфазного потока. Анализ составляющих гидравлического сопротивления.

Эмпирические методы расчета гидравлического сопротивления двухфазных потоков.

Особенности дисперсно-кольцевого режима течения. Уравнение движения для вертикального кольцевого режима. Расчет толщины пленки. Качественные закономерности кольцевых течений в горизонтальных каналах.

Гидравлическая неустойчивость при движении газожидкостных потоков в одиночном канале и в системе параллельных каналов.

#### *Неадиабатные двухфазные потоки в каналах*

Изменение паросодержания и смена режимов течения по длине обогреваемых каналов. Балансовое и действительное паросодержание в неравновесных потоках. Уравнение энергии для равновесного потока. Влияние изменения паросодержания на гидравлическое сопротивление. Кризис кипения в каналах. Особенности гидродинамики и теплообмена при захолаживании трубопроводов потоком криогенной жидкости.

### **Раздел V. Основы низкотемпературной трансформации тепла**

#### *Термодинамические основы низкотемпературной трансформации тепла*

Роль и назначение трансформаторов тепла.

#### *Парожидкостные компрессионные трансформаторы тепла*

Основные особенности схем и процессов реальных парожидкостных компрессионных трансформаторов тепла и их отличия от идеальных. Схемы одноступенчатых и многоступенчатых установок и области их применения. Удельные энергозатраты и КПД парожидкостных компрессионных трансформаторов. Холодильные коэффициенты и коэффициенты трансформации.

#### *Абсорбционные трансформаторы тепла*

Принцип действия и основные схемы абсорбционных трансформаторов тепла. Схемы и процесс работы реальных абсорбционных трансформаторов тепла непрерывного действия.

#### *Газожидкостные трансформаторы тепла*

Низкотемпературное разделение газовых смесей. Особенности криорефрижераторов, систем сжижения и замораживания. Криорефрижераторы с различными сочетаниями ступеней предварительного и окончательного охлаждения. Свойства газовых смесей и характеристики методов их разделения. Идеальные процессы низкотемпературного разделения газовых смесей, технические процессы низкотемпературного разделения смесей.

### **3. Направленность – 05.04.12, Турбомашины и комбинированные турбоустановки**

---

шифр, название

#### **1. Решетки профилей турбомашин**

Классификация решеток профилей для паровых и газовых турбин и осевых компрессоров. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток профилей. Плоские и кольцевые решетки профилей. Профильные и концевые потери в решетках и факторы, влияющие на их величину. Особенности дозвуковых, трансзвуковых и сверхзвуковых решеток профилей. Расширение пара в косом срезе решеток профилей при сверхзвуковых перепадах давления. Теоретические и экспериментальные методы определения аэродинамических характеристик решеток.

#### **2. Турбинные и компрессорные ступени**

Турбинные и компрессорные ступени. Преобразование энергии в турбинных и компрессорных ступенях. Треугольники скоростей. Мощность и КПД турбинных ступеней. Мощность, необходимая для привода компрессионной ступени и ее КПД. Дополнительные потери в турбинной ступени. Внутренний относительный КПД турбинной ступени. Особенности проектирования турбинных ступеней с относительно длинными лопатками. Пространственное проектирование (3-D проектирование) турбинных и компрессионных ступеней. Распределение скоростей и параметров потока по высоте лопаток в ступенях большой веерности. Влияние влажности пара на КПД турбинной ступени. Пути оптимизации турбинных и компрессионных ступеней.

#### **3. Многоступенчатые турбины и компрессоры**

Многоступенчатые турбомашины, их преимущества и недостатки. Методика расчета многоступенчатых турбин и компрессоров. Факторы, влияющие на экономичность многоступенчатых турбомашин. Лабиринтовые уплотнения и их расчет. Схемы парораспределения в паровых турбинах. Диффузоры в проточных частях турбомашин и их расчет. Входные и выходные устройства (патрубки) в турбомашинах. Сепарация влаги из проточных частей паровых турбин. Осевые усилия в турбомашинах. Системы охлаждения ступеней в высокотемпературных газовых турбинах. Предельная мощность паровых и газовых турбин.

#### **4. Конструкции современных турбомашин**

Типы паровых турбин и их конструктивные особенности. Конструкции современных газотурбинных установок ведущих мировых турбостроительных фирм и их особенности. Многоцилиндровые паровые турбины. Конструктивные особенности теплофикационных паровых турбин для АЭС и турбин, работающих в составе ПГУ.

## **5. Турбинные установки**

Влияние начальных параметров теплоносителей на технико-экономические показатели паротурбинных и газотурбинных установок. КПД турбоустановок нетто и брутто. Турбоустановки для комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Теплофикационные турбины. Тепловые схемы ПТУ, ГТУ и ПГУ. Типы газовых установок. Методы расчета ПГУ. Факторы, влияющие на экономичность ГТУ. Влияние регенеративного подогрева пара на экономичность ПТУ. Перспективы развития ПТУ, ГТУ, ПГУ и АЭС.

## **6. Переменный режим работы турбоустановок**

Существующие способы изменения нагрузки турбоустановок. Перспективные режимы работы турбинных и компрессионных ступеней. Универсальные характеристики ступеней турбомашин. Влияние переменных режимов работы ступеней турбомашин на КПД, степень реактивности и приведенный расход. Переменный режим работы группы ступеней. Пот в компрессорах и методы борьбы с ним.

Методика расчета соплового и дроссельного парораспределения. Изменение нагрузки паровых турбин при скользящем давлении. Влияние отклонений начальных параметров пара на работу паровых турбин. Диаграммы режимов работы турбин с одним и двумя регулируемым оборотами пара.

## **7. Прочность элементов турбин и компрессоров**

Условия работы и свойства материалов, используемых в турбомашинах. Ползучесть и длительная прочность материалов.

Моноцикловая и многоцикловая усталость. Расчет долговечности. Коррозийный и эрозийный износ в турбомашинах. Ползучесть и длительная прочность рабочих лопаток. Прочность дисков и роторов турбомашин. Термоусталость роторов. Колебания лопаток турбомашин. Причины колебаний лопаток. Свободные и вынужденные колебания. Самовозбуждающиеся колебания лопаток и дисков турбомашин. Колебание роторов турбомашин. Крутильные колебания роторов. Вибрационная надежность турбомашин.

## **8. Регулирование энергоустановок**

Задачи регулирования различных типов паро- и газотурбинных установок. Статические характеристики отдельных звеньев и всей системы регулирования. Параллельная работа паротурбинных установок. Простейшие схемы регулирования турбоустановок. Устойчивость и переходные процессы регулирования турбоагрегатов. Системы защит турбоустановок от аварийных ситуаций. Маслоснабжение турбоустановок. Особенности современных систем регулирования блочных паротурбинных установок большой мощности. Микропроцессоры в системах автоматического управления турбин.

## **I. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

### **1. Общие вопросы электромеханического преобразования энергии**

Конструктивные формы и исполнения электрических машин по способу монтажа и степени защиты. Климатические исполнения и категории размещения электротехнических устройств. Материалы, применяемые в электромашиностроении. Требования к магнитным, проводниковым, изоляционным и конструкционным материалам.

Виды и классификация вращающихся электрических машин. Основные рабочие характеристики двигателей и генераторов. Требования к характеристикам, связанные с интенсификацией производства, усложнением оборудования и технологических процессов. Показатели надежности и виброакустические.

Размерные соотношения в электрических машинах. Машинная постоянная. Принцип построения серий. Шкалы мощностей, частот вращения, высот оси вращения. Габаритные и установочно-присоединительные размеры. Методы расчета и конструирования. Обеспечение технологичности конструкции. Обеспечение безопасности эксплуатации электрических машин. Определение главных размеров электрических машин. Электромагнитные нагрузки электрических машин, ограничения по их выбору. Расчетная мощность.

Конструкция обмоток машин переменного тока из прямоугольного и круглого провода и их изоляция в зависимости от мощности, исполнения и номинального напряжения машины. Выбор числа пазов. Расчетные соотношения для определения числа витков, сечения провода и размеров пазов различной формы. Расчет показателей надежности обмоток. Схемы обмоток машин переменного тока. Однослойные и двухслойные обмотки. Обмотки для механизированной намотки. Обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Механические расчеты электрических машин. Валы электрических машин. Расчет прочности и критической частоты вращения. Расчет крепления полюсов электрических машин. Расчет прочности крепления обмоток, бандажей и клиньев. Расчет подшипников электрических машин. Расчет шумов и вибраций.

Тепловые расчеты в электрических машинах. Классификация машин по способам охлаждения. Режимы работы электрических машин. Баланс мощностей. Уравнения теплопроводности. Задачи теплового расчета. Расчет тепловых сопротивлений. Метод эквивалентных потерь. Удельные тепловые нагрузки. Тепловые схемы замещения типовых конструктивных схем электрических машин. Схемы вентиляции. Расчет вентиляционных цепей. Форсированные системы охлаждения. Приближенные расчеты охлаждения электрических машин.

## 2. Трансформаторы

Современные требования предъявляемые к силовым трансформаторам распределительных сетей. Стандартизация в трансформаторостроении. Классификация и система обозначений. Серии трансформаторов. Проектирование единичного трансформатора и серии. Методы расчета трансформаторов.

Конструктивная схема и основные размеры силового трансформатора

Выбор и оценка исходных данных. Материалы применяемые в трансформаторостроении. Выбор активных материалов. Магнитная система современного трансформатора. Влияние электротехнической стали и конструкции магнитной системы на характеристики. Влияние проводникового материала на характеристики и массогабаритные показатели трансформатора.

Изоляция в трансформаторах. Требования к изоляции трансформатора. Главная и продольная изоляция. Испытательное напряжение. Изоляционные конструкции, выбор изоляционных расстояний. Защита изоляции от перенапряжений. Электростатические экраны, емкостные кольца, экранирующие витки, переплетенные обмотки.

Алгоритмы расчета основных конструктивных форм обмоток. Выбор конструктивных форм обмоток. Критерии выбора обмоток с учетом технических параметров трансформатора и заданных требований. Конструктивная раскладка витков в обмотках различного типа. Критерии выбора размеров и количества элементарных проводников в обмотках. Алгоритм расчета слоевых, винтовых и катушечных обмоток. Предварительная оценка соответствия спроектированной обмотки исходным данным.

Расчет параметров короткого замыкания. Потери в обмотках и металлоконструкциях. Расчет основных и добавочных потерь. Коэффициент добавочных потерь. Требования по соответствию уровня потерь короткого замыкания. Способы корректировки численного значения потерь в ходе проектирования. Электромагнитные поля рассеяния в силовых трансформаторах. Влияние индуктивности рассеяния на характеристики, надежность и работоспособность трансформатора. Пути корректировки напряжения короткого замыкания при проектировании.

Определение механических сил и электродинамической устойчивости обмоток. Ударный ток короткого замыкания. Силы, действующие на обмотки в режиме короткого замыкания. Меры по обеспечению электродинамической стойкости обмоток. Оценка термической стойкости обмоток при коротком замыкании.

Расчет параметров холостого хода. Влияние технологии изготовления магнитопровода на параметры холостого хода. Определение массы частей магнитной системы. Расчет намагничивающей мощности. Расчет потерь и тока холостого хода.

Конструктивная проработка трансформатора. Конструктивные исполнения бака трансформаторов. Основные требования по контролю и защите

трансформаторов. Применение устройств контроля и защиты силовых трансформаторов. Направления совершенствования устройств контроля и защиты. Расширители, вводы, арматура, устройства перемещения. Термосифонный фильтр.

Этапы жизненного цикла силового трансформатора. Сборка магнитопровода, обмоток, изоляционных деталей, испытание трансформаторов, разработка (с посещением трансформаторного производства). Основные положения обобщенного метода расчета силовых трансформаторов. Основные допущения метода. Поиск псевдооптимального варианта силового трансформатора. Особенности проектирования серии трансформаторов. Применение обобщенного метода при проектировании серии трансформаторов.

Расчет и конструирование вентиляторов для типовых конструктивных схем машин. Тепловые поля в силовых трансформаторах, тепловой расчет обмотки. Тепловая схема замещения трансформатора. Выбор и расчет системы охлаждения. Расчет площади конвекции и излучения бака. Проверочный расчет превышений температуры обмоток и масла.

### **3. Асинхронные машины**

Особенности проектирования асинхронных двигателей. Основные серии АД. Конструкция асинхронных машин. Определение главных размеров. Выбор электромагнитных нагрузок, их влияние на характеристики. Воздушный зазор.

Проектирование короткозамкнутых и фазных роторов. Особенности расчета параметров короткозамкнутых роторов. Эффект вытеснения тока и его учет. Насыщение от полей рассеяния.

Расчет магнитной цепи. Параметры асинхронной машины для номинального режима. Активные и индуктивные сопротивления обмоток. Сопротивления обмоток двигателей с короткозамкнутыми роторами.

Потери и КПД асинхронной машины. Рабочие характеристики и их расчет. Зависимости характеристик АД от входных параметров. Пусковые характеристики асинхронного двигателя. Особенности проектирования специальных исполнений АД. Особенности теплового и вентиляционного расчета.

### **4. Синхронные машины**

Особенности проектирования синхронных машин. Конструкции синхронных машин. Турбо и гидрогенераторы. Явнополюсные синхронные машины общего назначения. Главные размеры. Проектирование обмоток якоря. Воздушный зазор. Выбор размеров полюсов. Демпферная обмотка. Расчет требуемой МДС обмотки возбуждения. Проектирование обмоток возбуждения. Параметры и постоянные времени. Характеристики синхронных генераторов и двигателей.

Особенности проектирования гидрогенераторов. Конструкции гидрогенераторов. Выбор главных размеров. Обмотки статора. Выбор размеров паза статора. Выбор размеров магнитопровода ротора и демпферной обмотки. Расчет магнитной цепи. Расчет обмотки возбуждения гидрогенератора. Расчет параметров и постоянных времени обмоток. Потери и КПД. Характеристики



гидрогенератора. Особенности теплового и вентиляционного расчета. Расчет подпятника и подшипников. Особенности расчета механических частей на прочность.

Особенности проектирования турбогенераторов. Конструкции турбогенераторов. Выбор главных размеров. Обмотки статора. Выбор размеров паза статора в зависимости от типа охлаждения. Зубцовая зона и ярмо ротора. Расчет магнитной цепи. Расчет обмотки возбуждения турбогенератора. Расчет параметров и постоянных времени обмоток. Отношение короткого замыкания, токи короткого замыкания, статическая перегружаемость. Потери и КПД. Особенности теплового расчета. Особенности расчета механических частей на прочность. Расчет критических частот вращения ротора.

## **5. Машины постоянного тока**

Проектирование машин постоянного тока. Общая характеристика МПТ, область их применения. Современные серии. Выбор главных размеров. Электромагнитные нагрузки. Расчет обмоточных данных и зубцовой зоны якоря. Особенности проектирования якорных обмоток машин постоянного тока. Расчетные соотношения, связывающие обмотку якоря с коллектором. Выбор типа обмотки. Волновые и петлевые обмотки.

Воздушный зазор машины постоянного тока. Компенсационная обмотка. Определение требуемой МДС обмотки возбуждения. Проектирование коллектора и щеточного аппарата. Расчет коммутации и проектирование добавочных полюсов. Потери и КПД. Рабочие характеристики МПТ.

## **6. Синхронные компенсаторы**

Проектирование синхронных компенсаторов. Конструкция. Выбор главных размеров. Расчет характеристик, параметров при номинальном режиме и асинхронном пуске.

# **II. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ**

## **1. Общие понятия об электрических и электронных аппаратах**

Классификация по назначению, по току и напряжению, по области применения. Применение в схемах электроснабжения, электроприводе и электрическом транспорте.

## **2. Физические явления в электрических аппаратах**

Методы анализа электромагнитных полей. Законы электромагнитного поля. Дифференциальные уравнения для параметров поля. Численные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод интегральных уравнений) и программное обеспечение для расчетов полей электромагнитных систем. Методы расчетов параметров макромоделей (ЭДС, индуктивностей, силовых характеристик) на основе анализа электромагнитного поля.

Электродинамические силы в электрических аппаратах. Методы расчета. Использование электродинамических сил. Электродинамическая стойкость электрических аппаратов.

Источники теплоты в электрических аппаратах. Методы анализа. Способы снижения потерь в электрических аппаратах. Теплопередача в окружающее пространство. Критерии подобия. Критериальные уравнения. Расчет коэффициентов теплопередачи. Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности в электрических аппаратах. Нестационарный режим нагрева и остывания электрических аппаратов.

Контакты электрических аппаратов. Модели контактирования. Ом-вольтная характеристика контактов и сваривание контактов.

Электрическая дуга отключения. Вольт-амперные характеристики стационарной и нестационарной дуги. Распределение потенциалов в дуге. Условия гашения электрической дуги в цепи постоянного тока. Шунтирование дуги. Условия гашения дуги переменного тока. Начальная прочность межконтактного промежутка после прохождения тока через нуль. Восстанавливающаяся прочность и восстанавливающееся напряжение. Влияние собственной частоты сети на процессы гашения дуги.

### **3. Электромеханические аппараты**

Электрические аппараты распределительных устройств низкого напряжения, управления и автоматики. Электрические аппараты высокого напряжения. Выбор, применение, методы испытаний, эксплуатация и тенденции развития электромеханических аппаратов.

### **4. Силовые электронные аппараты**

Основные виды аппаратов, их функции и классификация. Сравнительный анализ статических и электромеханических аппаратов и области их рационального применения.

Силовые электронные ключи. Особенности коммутации электронных ключей. Статические и динамические режимы работы ключей. Области безопасной работы и защита электронных ключей.

Пассивные компоненты и охладители силовых электронных приборов. Влияние повышенной частоты и несинусоидальности напряжения на работу конденсаторов и реакторно-трансформаторного оборудования.

### **5. Системы управления силовыми электронными аппаратами**

Обобщенные структурные схемы систем управления силовыми электронными аппаратами. Основные функциональные узлы и элементная база.

Микропроцессоры в управлении электрическими и электронными аппаратами. Структура и функции микропроцессора, микроконтроллера и примеры их применения в различных аппаратах.

## **6. Статические коммутационные аппараты**

Статические коммутационные аппараты постоянного и переменного токов. Функциональные возможности и области рационального применения. Гибридные коммутационные аппараты.

## **7. Статические регуляторы постоянного и переменного тока**

Примеры импульсного регулирования параметров электрической энергии. Основные схемы импульсных регуляторов постоянного тока. Тиристорные регуляторы постоянного тока.

Тиристорные регуляторы переменного тока с естественной и искусственной коммутацией. Применение силовых транзисторов в регуляторах переменного тока. Регуляторы реактивной мощности.

## **8. Методы и программные средства для математического моделирования процессов в электрических и электронных аппаратах**

Фазовые переменные, компонентные и топологические уравнения, источники фазовых переменных в электрической, электромагнитной, тепловой и механических подсистемах электромеханических аппаратах. Составление эквивалентных схем элементов и узлов электрических и электронных аппаратов. Математическое моделирование статических и динамических процессов в электромеханических электрических аппаратах.

### **Основная литература**

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М: Издательский дом МЭИ, 2006.
2. Копылов И.П. Электрические машины. – М: Высшая школа, 2006.
3. Осин И.Л. Синхронные электрические двигатели малой мощности. М: Издательский дом МЭИ, 2006.
4. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М.: Издательский дом Альянс, 2009. 528с.
5. Справочник по электрическим машинам в 2т. / Под общей редакцией И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т1.: Энергоатомиздат, 1998. 456с., т.2. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 687с.
6. Копылов И.П., Клоков Б.К., Морозкин В.П., Токарев Б.Ф. Проектирование электрических машин /Под ред. Копылова И.П., – М.: Издательство Высш.школа, 2002, – 757 с.
7. Абрамов А.И., Иванов-Смоленский А.В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. – М.: Издательство Высш.школа, 2001, – 388 с.
8. Извеков В.И., Серихин Н.А., Абрамов А.И. Проектирование турбогенераторов. – М.: Издательство МЭИ, 2005, – 330 с.

9. Электрические и электронные аппараты : учебник для вузов в 2 т Т.1 : Электромеханические аппараты / Е.Г. Акимов, [и др.] : под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова; учебник – М.: Академия, 2010
10. Электрические и электронные аппараты : учебник для вузов в 2 т Т.2 : Электронные аппараты / А.А. Кваснюк, [и др.] : под ред. Ю.К. Розанова; учебник – М.: Академия, 2010
11. Электрические аппараты высокого напряжения. /Г.Н. Александров, В.В. Борисов и др. /Под ред. чл.-корр. РАН Г.Н. Александрова. Изд. 2-ое. – СПб.: Издание СПбГТУ, 2000.
12. Основы теории электрических аппаратов. /И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годжелло и др. /Под ред. И.С. Таева. – М.: Высшая школа. 1987.
13. Силовые электронные ключи (методическое пособие по курсу Электрические и электронные аппараты): Под ред Ю.К., Розанова. – Изд-во МЭИ, 1996.
14. Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов: учеб. пособие / П.А. Курбатов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 110 с.
15. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.

#### **Дополнительная литература**

16. Борисенко А.И., Костиков О.Н., Яковлев А.И. Охлаждение промышленных электрических машин.-М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
17. Голунов А.М, Мазур А.Л. Вспомогательное оборудование трансформаторов. – М.:Энергия, 1978. 144с.
18. Конструирование асинхронных электрических машин / М.В. Антонов, Г.А.Семенчуков. – М.: Издательство МЭИ, 1996, 27 с.
19. Семенчуков Г.А. Учебное проектирование асинхронных двигателей. Методическое пособие по курсу "Проектирование электрических машин" для студентов, обучающихся по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" и по специальности "Электромеханика" – М.: Издательство МЭИ, 2002, 24 с.
20. Методические указания к курсовому проекту по курсу "Проектирование синхронных машин". Синхронные машины. Иванов-Смоленский А.В. / Под ред. Извекова В.И. – М.: Издательство МЭИ, 2001, 27 с.
21. Чунихин А.А. Электрические аппараты. Общий курс. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
22. Буткевич Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. – М.: Госэнергоиздат, 1970.
23. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, А.А. Кваснюк. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.

24. Основы силовой электроники, 4-е издание. : монография / Г. С. Зиновьев. – : Новосибирск, НГТУ, 2009. – 672 с.
25. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. М.: Энергоатомиздат, 1986.
26. Четти П. Проектирование ключевых источников электропитания. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
27. Могилевский Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

## 5. Направленность – 05.09.02, Электротехнические материалы и изделия

шифр, название

### **Основные понятия**

Классификация электротехнических материалов. Физические свойства электротехнических материалов, определяющие эффективность их применения. Электрические, магнитные, механические и температурные параметры электроизоляционных материалов, их устойчивость к внешним воздействиям и времени эксплуатации. Особенности технологии производства электроизоляционных материалов и методов их утилизации.

Физические и физико-химические процессы, определяющие взаимодействие электротехнических материалов с динамическими параметрами среды. Методы анализа и оценки устойчивости параметров электротехнических материалов к механическим напряжениям, изменению температуры, влажности и другим воздействиям.

Классификация испытаний электротехнических материалов и изделий. Стандарты методов испытаний.

Методы планирования эксперимента и испытаний. Аналитические и численные методы, экспериментальные методы поиска оптимума.

Подготовка образцов к испытаниям. Обработка образцов в течение определенного времени и при определенных условиях окружающей среды с целью устранения или частичного снижения влияния предшествующего состояния материала. Различия нормализации и кондиционирования. Условия проведения экспериментов.

### **Механические свойства электротехнических материалов**

Механические испытания при растяжении. Закон Гука. Определение модуля упругости. Испытания на сжатие. Отношение нагрузки к исходному поперечному сечению образца. Измерение прочности материалов при изгибе. Измерение твердости материалов. Определение долговечности клеевых соединений.

### **Теплофизические свойства электротехнических материалов**

Поведение электротехнических материалов при нагревании (охлаждении), определение допустимых рабочих температур. Физические процессы в электротехнических материалах, приводящие к выделению тепла. Определение теплопроводности электротехнических материалов. Определение теплоемкости электротехнических материалов. Температура размягчения. Температура плавления и переработки. Термодеструкция. Дифференциальный термический анализ. Нагревостойкость электротехнических материалов. Холодостойкость при отрицательной температуре. Стойкость к термоударам.

### **Химико-физические свойства электротехнических материалов**

Химостойкость. Стойкость материала к разрушению (коррозии) при контактировании с водой, кислотами, щелочами, солевыми растворами, топливом,

газами. Изменение внешнего вида, массы, электрических и других параметров. Тропикостойкость электротехнических материалов под воздействием климатических факторов. Радиационная стойкость. Изменение механических свойств, влияющих на электрофизические параметры электротехнических материалов, в процессе радиолитического разложения под воздействием ионизирующих излучений. Определение воздействия внутренних частичных разрядов на изоляцию силовых конденсаторов, трансформаторов, кабелей, электрических машин.

### **Магнитные свойства материалов**

Строение и свойства магнитных материалов. Магнитные материалы, применяемые в энергетике, электротехнике и радиоэлектронике.

Магнетизм микрочастиц. Классическая и квантовая теории парамагнетизма. Магнитная анизотропия и кристаллическая структура магнитных материалов. Природа магнитной анизотропии. Основные представления о магнитострикции.

Процессы намагничивания ферромагнетиков в магнитных полях. Экспериментальные методы исследования магнитных свойств. Основные особенности антиферромагнетиков. Косвенное обменное взаимодействие. Схема Крамерса-Андерсона. Феноменологическая теория антиферромагнетизма.

Закон Кюри-Вейса. Температура Нееля, асимптотическая точка Кюри. Антиферромагнитная восприимчивость.

Температурная зависимость намагниченности и определение температуры Кюри ферритов по методу Фарадея.

Электропроводность ферритов и ее зависимость от химического состава и температуры. Спектр магнитной проницаемости ферритов. Ферромагнитный резонанс. Магнитно-мягкие ферриты и области их применения. СВЧ ферриты, особенности их свойств и применение.

### **Электротехнические изделия**

Электрические конденсаторы. Классификация силовых конденсаторов, конструкции силовых конденсаторов. Основные параметры силовых конденсаторов. Электроизоляционные и проводниковые материалы, применяемые в электроконденсаторостроении.

Электрические кабели, провода и шнуры. Классификация, основные конструкции силовых кабелей, кабелей связи, волоконно-оптических материалов. Проводниковые, электроизоляционные и конструкционные материалы, применяемые в кабельной технике.

Системы изоляции электрических машин и трансформаторов. Микалентно-компаундированная и терморезистивная изоляция. Конструкции и материалы электрической изоляции обмоток статоров и роторов электрических машин. Материалы для главной и продольной изоляции трансформаторов.

### **Электрический привод и автоматика**

Расчетные схемы механической части электропривода (ЭП), типовые статические нагрузки, уравнение движения.

Механическая часть ЭП как объект управления, механические переходные процессы, динамические нагрузки ЭП.

Обобщенная электрическая машина, электромеханическая связь ЭП, координатные и фазные преобразования переменных обобщенной машины.

Динамика обобщенной разомкнутой электромеханической системы (ЭМС): математическое описание разомкнутых ЭМС, динамические свойства ЭП с линейной механической характеристикой, статическая устойчивость, демпфирование упругих механических колебаний, переходные процессы ЭП и методы их анализа.

Электроприводы на базе двигателей постоянного тока (независимого, последовательного, смешанного возбуждения), асинхронных двигателей (АД), синхронных двигателей (СД), вентильных двигателей (ВД): математическое описание процессов преобразования энергии, естественные и искусственные характеристики, способы регулирования координат ЭП и их техническая реализация, показатели регулирования.

Выбор мощности ЭП: потери энергии в установившихся и переходных режимах работы, нагревание и охлаждение двигателей, нагрузочные диаграммы ЭП, номинальные режимы работы двигателей, методы проверки двигателей.

Основные показатели способов регулирования двигателей, обобщенная система «управляемый преобразователь – двигатель», принцип подчиненного регулирования координат ЭП, стандартные настройки контуров регулирования.

Регулирование момента (тока) и скорости электроприводов постоянного и переменного тока: техническая реализация, функциональные и структурные схемы, статические характеристики, применение регуляторов и особенности настройки подчиненных контуров регулирования, динамические показатели.

Особенности частотного регулирования скорости АД: виды и техническая реализация преобразователей частоты, типовые частотные законы управления и статические характеристики, системы скалярного управления, принцип ориентирования по полю двигателя при частотном управлении, системы векторного управления.

Регулирование положения: автоматическое регулирование положения по отклонению, особенности настройки контура регулирования, точный останов, понятие следящего ЭП.



Релейно-контакторные схемы управления двигателями (РКСУ): электрические схемы и способы анализа РКСУ, принципы управления и типовые узлы, примеры выполнения РКСУ.

Дискретные логические системы управления (ДЛСУ) движением ЭП: математическое описание ДЛСУ, синтез ДЛСУ методом циклограмм, примеры синтеза узлов.

Построение ДЛСУ на основе цифровых узлов: на базе программируемой логической матрицы, аппаратного контроллера, программируемого логического контроллера.

Логические системы управления на основе фаззи-логики, структура и алгоритмы управления.

Цифровые системы управления (ЦСУ) скоростью и положением ЭП: расчетные модели ЦСУ с учетом дискретности по уровню, методика синтеза цифрового контура регулирования, оптимизация цифрового контура.

Микропроцессорные системы управления ЭП: особенности аппаратной реализации, интерфейсы связи и протоколы передачи данных, алгоритмы управления преобразовательными устройствами и их программная реализация.

Основы выбора и проектирования системы электропривода: обоснование выбора типа и мощности двигателя и преобразователя, структуры системы управления, оценка энергетической эффективности, основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.

### **Электротехнические комплексы систем электроснабжения предприятий, жилых и общественных зданий (потребителей электрической энергии)**

Место системы электроснабжения объектов в схеме «источник электроэнергии – электроприемник». Элементы системы электроснабжения.

Режимы работы электроприемников. Графики электрических нагрузок. Методы расчета электрических нагрузок.

Электрооборудование электрических сетей промышленных предприятий. Воздушные и кабельные линии, токопроводы. Троллейные сети. Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, преобразовательные агрегаты. Коммутационные аппараты. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Схемы замещения трансформаторов, линий электропередачи, электрической сети в целом. Выбор электрооборудования.

Режимы нейтрали в сетях потребителей. Способы обеспечения безопасной эксплуатации высоковольтных сетей.

Расчеты режимов питающих распределительных и цеховых электрических сетей. Особенности расчета токов КЗ в сетях потребителей по сравнению с сетями энергосистем. Расчет токов КЗ в низковольтных сетях.

Структура низковольтных сетей. Коммутационно-защитная аппаратура в сетях на напряжении ниже 1 кВ. Совместный выбор сечений проводников и защищающих их аппаратов. Специфика расчета осветительных сетей.

Пуск и самозапуск электрических двигателей.

Основы релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения промышленного предприятия.

Способы экономии электроэнергии в элементах системы электроснабжения. Основы технико-экономических расчетов при проектировании систем электроснабжения.

Компенсация реактивной мощности как средство регулирования режимов электропотребления. Способы и средства компенсации реактивной мощности. Источники реактивной мощности. Выбор уровня и средств компенсации реактивной мощности в низковольтных сетях.

Требования нормативных документов по качеству электроэнергии, определение показателей качества электроэнергии. Основные потребители, ухудшающие качество электроэнергии. Способы и средства, позволяющие улучшить качество электроэнергии в сетях потребителей и в энергосистеме.

Основы нормативно-правовой базы электроснабжения потребителей.

### **Электротехнические комплексы автономных объектов**

Асинхронные двигатели (АД) и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Особенности характеристик. Пуск, регулирование частоты вращения, электрическое торможение АД с короткозамкнутым и фазным ротором. Векторное управление АД. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе асинхронного двигателя.

Вентильные двигатели (ВД) и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Типы электрических машин, датчиков положения ротора, коммутаторов, используемых в составе ВД. Особенности характеристик. Пуск, способы регулирования частоты вращения, электрическое торможение, реверсирование ВД. Бездатчиковое управление ВД. Векторное управление ВД. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе вентильного двигателя.

Гистерезисные двигатели и электропривод на их основе в составе автономных объектов. Особенности характеристик, способы управления. Факторы, определяющие КПД и массогабаритные показатели электропривода на базе гистерезисного двигателя.

Статические преобразователи в составе электротехнических комплексов автономных объектов. Критерии эффективности. Основные направления повышения КПД и снижения массогабаритных показателей.

Информационно-управляющие подсистемы электротехнических комплексов. Микроконтроллерные системы управления. Алгоритмы управления и их программная реализация.

Методы и средства математического моделирования электромеханических и электронных преобразователей и систем.

Системы генерирования электроэнергии в автономных объектах. Типы электромеханических преобразователей, варианты структур, вопросы регулирования напряжения и частоты.

Основные положения проектирования электромеханических и электронных преобразователей энергии: выбор типа и мощности электромеханического преобразователя, обоснование структуры, типа и мощности электронного преобразователя, выбор элементной базы. Вопросы системного подхода при проектировании сложных электромеханических систем.

### **Электротехнические комплексы и системы электрического транспорта**

Виды электрического транспорта, их сравнительная характеристика. Основное уравнение движения поезда. Силы, действующие на поезд в различных режимах движения. Реализация сил тяги и торможения, коэффициент сцепления. Ограничения сил тяги и торможения, скорости, мощности ЭПС.

Структура тягового электропривода. Электромеханические характеристики на валу тяговой электрической машины и на ободу колеса.

Типы тяговых электрических машин постоянного и переменного тока, достоинства и недостатки. Электрическая и механическая устойчивость.

Пуск электрического подвижного состава с тяговыми машинами разных типов. Преобразователи напряжения для питания тяговых машин и их элементная база.

Электрическое торможение, способы и характеристики. Ограничения допустимых режимов. Регулирование тормозной силы при реостатном и рекуперативном торможении. Проблемы использования избыточной энергии рекуперации.

Механическое торможение и его характеристики.

Решение тормозных задач.

Расход энергии на движение поезда. Методы расчёта энергии и энергетическая эффективность на электрическом транспорте.

Автоматизированное проектирование электромеханических преобразователей. Моделирование тягового электропривода.

Электрооборудование электрического подвижного состава. Схемы силовых цепей электровозов, электропоездов, различных видов городского электрического транспорта.

Автономный электрический подвижной состав. Схемы электрической трансмиссии, способы реализации режима постоянной мощности.

Системы управления на электрическом подвижном составе. Автоматизация процессов движения ЭПС, системы автоведения. Системы защиты и диагностики на подвижном составе и в системах тягового электроснабжения.

Классификация источников, приемников и преобразователей электрической энергии. Основные характеристики графиков нагрузки систем электрического транспорта.

Тяговые подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта. Принципы расчета электрических сетей и внешнего электроснабжения. Основные параметры электрооборудования. Выбор систем и схем электроснабжения транспорта. Основные схемы электроснабжения.

Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Выбор напряжения в системах электроснабжения. Методы расчёта тяговой сети на железнодорожном и городском электрическом транспорте. Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений. Защита от блуждающих токов.

Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты. Основные устройства релейной защиты и автоматики. Автоматическое повторное включение. Автоматическое включение резерва.

Качество электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на электромагнитную совместимость приёмников электрической энергии с питающей сетью. Нормирование и контроль показателей качества электроэнергии. Средства улучшения показателей качества электроэнергии.

Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения электрической тяги однофазного переменного тока. Современные средства компенсации реактивной мощности.

Заземление электроустановок, молниезащита промышленных, транспортных и сельскохозяйственных сооружений, жилых и культурно бытовых зданий.

Допустимые перегрузки элементов преобразовательных подстанций в системах электроснабжения; прогнозирование перегрузок.

Методика расчета потерь мощности в системах электроснабжения. Нормирование энергопотребления и энергосберегающие мероприятия.

1. Основные понятия и законы

Предмет теоретической электротехники, основные этапы развития электротехники, отечественная электротехническая школа. Характеристика задач теории электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей. Электромагнитное поле как особый вид материи, две его составляющие - электрическое поле, магнитное поле. Параметры и интегральная форма основных уравнений электромагнитного поля. Энергия, силы и механические проявления электрического и магнитного полей. Электрическое напряжение и электродвижущая сила. Электрический ток, виды электрического тока. Магнитный поток и его непрерывность. Электрические и магнитные цепи. Научные абстракции, используемые в теории электрических цепей. Линейные и нелинейные цепи, цепи с распределенными и сосредоточенными параметрами. Схемы электрических и магнитных цепей. Понятие о топологии схем электрических и магнитных цепей. Графы и топологические матрицы схем электрических и магнитных цепей. Законы электрических и магнитных цепей. Полные системы уравнений электрических и магнитных цепей. Установившиеся и переходные процессы в электрических и магнитных цепях. Анализ, синтез и диагностика как основные задачи теории электрических и магнитных цепей.

2. Теория линейных электрических цепей

Электрические и электронные цепи в системах передачи, распространения и преобразования энергии и информации. Активные и пассивные цепи. Двухполюсники и многополюсники. Управляемые источники. Индуктивно связанные элементы. Методы расчета электрических цепей при установившихся синусоидальных и постоянных токах: метод эквивалентного генератора, метод контурных токов и узловых напряжений, методы эквивалентных преобразований электрических цепей, комплексный метод. Мощности в цепях синусоидального и постоянного токов. Баланс мощностей.

3. Многофазные цепи. Расчет симметричных и несимметричных режимов работы трехфазных цепей. Метод симметричных составляющих.

Четырехполюсники, матрицы и основные уравнения четырехполюсников. Характеристическое сопротивление и коэффициент передачи. Схемы замещения четырехполюсников. Соединения четырехполюсников.

4. Электрические цепи при несинусоидальных периодических напряжениях и токах. Гармонический анализ периодических функций. Действующие значения мощности и токов, напряжений, электродвижущих сил. Состав высших гармоник при симметрии форм кривых напряжений и токов. Мощности в цепях с несинусоидальными напряжениями и токами.

5. Резонансные явления. Частотные характеристики цепей и методы их

расчета. Элементы теории фильтров. Полоса пропускания и избирательность фильтра.

6. Переходные процессы в линейных цепях. Анализ переходных процессов. Классический и операторный методы расчета. Метод переменных состояний. Использование интегралов Дюамеля при расчете переходных процессов, передаточные функции цепи. Расчет процессов при наличии в цепи емкостных контуров и индуктивных сечений. Сведение задач расчета переходных процессов к расчету резистивных цепей - метод дискретных схем замещения. Цифровые электрические и электронные цепи,  $z$ - преобразование, уравнения состояния в  $z$ - области, передаточные функции цифровых систем в  $z$ -области.

7. Цепи с распределенными параметрами. Уравнения длинных линий, их решение для установившихся синусоидальных колебаний. Переходные процессы в цепях с распределенными параметрами.

#### 8. Теория нелинейных электрических цепей

Установившиеся процессы в нелинейных цепях. Методы расчета нелинейных электрических и магнитных цепей при постоянных токах и напряжениях.

Нелинейные цепи переменного тока и методы их расчета. Анализ установившихся процессов в нелинейных цепях переменного тока. Формирование алгебраических уравнений нелинейных резистивных электрических цепей и численные методы их решения.

Переходные процессы в нелинейных цепях. Основные методы анализа нелинейных электрических цепей - метод возмущений, метод гармонического баланса. Частотные свойства нелинейных цепей. Фазовая плоскость.

#### 9. Теория электромагнитного поля

Векторы и основные уравнения электромагнитного поля. Полная система уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах. Граничные условия. Энергия и энергетические преобразования в электромагнитном поле. Теорема Умова-Пойнтинга.

Статические поля. Основные уравнения статических электрического и магнитного полей. Уравнение Пуассона и Лапласа. Метод зеркальных изображений. Емкость, емкостные и потенциальные коэффициенты. Краевые задачи и методы их решения. Энергия и силы в электростатическом поле.

10. Стационарные электрические и магнитные поля. Основные уравнения поля. Дифференциальная форма законов Ома, Ленца - Джоуля, Кирхгофа. Подобие статических и стационарных полей. Скалярный и векторный магнитные потенциалы. Потокосцепление. Собственная и взаимная индуктивности. Расчет индуктивностей. Энергия и силы в магнитном поле.

11. Переменное электромагнитное поле в материальной среде. Уравнения переменного магнитного поля. Уравнения Максвелла в комплексной форме. Комплексные параметры среды. Теорема Умова-Пойнтинга в комплексной форме. Вектор Пойнтинга. Поверхностный эффект. Глубина проникновения. Электромагнитное поле в реальных проводниках, диэлектриках, ферромагнетиках

и анизотропных средах.

12. Электромагнитные волны и излучение. Волновое уравнение и его решение. Гармонические волны в идеальном диэлектрике. Волны в пространстве, ограниченном проводящими границами. Волноводы и резонаторы. Типы волн.

13. Диагностика электрических цепей

Задача диагностики электрических цепей. Тестовая и функциональная диагностика. Корректность ее постановки, базисная постановка задачи диагностики. Этапы решения задачи диагностики: физический эксперимент, математическая обработка результатов эксперимента. Сложность решения задачи диагностики резистивных цепей: число измерений, число математических операций обработки эксперимента, число обусловленности математической модели.

14. Математическое моделирование цепей и электродинамических систем

Задачи математического моделирования и модели электрических цепей. Теоремы существования решений уравнений электрических цепей и корректной постановки задач моделирования. Некорректные задачи моделирования электрических цепей и общие подходы к их решению. Проблема сложности решения задач моделирования: высокая размерность, нелинейность, плохая обусловленность, жесткость и овражность задач.

15. Моделирование резистивных цепей. Формирование уравнений, машинная технология формирования уравнений.

16. Численные методы моделирования переходных процессов в электрических цепях: резистивные аналоги накопителей энергии и разностные схемы уравнений электрических цепей. Моделирование нелинейных электрических цепей в установившихся и переходных процессах. Резистивные дискретные аналоги нелинейных элементов. Машинное формирование уравнений нелинейных электрических цепей.

17. Моделирование электродинамических систем в установившихся и переходных режимах: математические модели электродинамических систем, упрощенные модели электроэнергетических систем в переходных процессах.

18. Информационные технологии электротехники

Технологии машинного расчета электрических цепей. Задачи машинного расчета электрических цепей, методы и технологии их решения. Формализация описания электрических цепей. Топологические списки, технологии ввода данных для расчета цепей. Технология формирования узловых уравнений: принцип поэлементного вклада. Проблемы численной обработки узловых уравнений. Условия существования единственного решения узловых уравнений. Оценка точности решения узловых уравнений по точности задания исходных данных и числу обусловленности узловых матриц. Технологии работы с конкретными программами расчета электрических цепей и электромагнитных полей. Знакомство с программами расчета электрических цепей и электромагнитных полей (Matlab, Desing, Canter, Qfield, Ansys, Elcut т.д.) и средой Labview работы с виртуальными

инструментами. Технологии работы с компьютерными программами и средами при расчете электрических цепей и электромагнитных полей.

#### **Основная литература:**

1. Теоретические основы электротехники /К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин. Т.1-3, - СПб, 2009.
2. Л.Р.Нейман, К.С.Демирчян. Теоретические основы электротехники. Т.1,2 Л.: Энергоиздат, 1981.
3. Основы теории цепей. /Г.В.Зевеке, П.А.Ионкин, А.В.Нетушил, С.В.Страхов. - М.: Высшая школа, 1989.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Гардарики, 2008.
5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники в 2-х томах / Под редакцией П.А.Бутырина. - М.:, издательство МЭИ, 2012.
6. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. Ч. 1. - М.: Мир - 1988 - 336 с.
7. Сиберт У.М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. Ч. 2. - М.: Мир - 1988 - 360 с.
8. Шакиров М.А. Теоретические основы электротехники. Новые идеи и принципы. Схемоанализ и диакоптика. - СПб.: Издательство СПбГТУ, 2001.
9. Giorgio Rizzoni Fundamentals of Electrical Engineering - NY.: McGraw-Hill Higher Education, 2008
10. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 3/под ред. К.А. Пупкова. - М.: Изд-во МВТУ им. Баумана, 2000.
11. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы: принципы разработки и программирование - М.:Вильямс, 2008, - 1152 с.
12. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах - М.: ЛКИ, 2008, - 384 с.

#### **Дополнительная литература:**

1. Демирчян К.С., Бутырин П.А. Моделирование и машинный расчет электрических цепей. - М.: Высшая школа, 1988.
2. Демирчян К.С., Чечурин В.Л.. Машинные расчеты электромагнитных полей. - М.: Высшая школа, 1986.
3. Нелинейные системы. Частотные и матричные неравенства/А.Х. Гелига, Г.А. Леонова, А.Л. Фрадкова - М.: Физматлит, 2010, - 608 с.
4. Massimiliano Di Ventra Electrical Transport in Nanoscale Systems - L.: Oxford university press, 2008.
5. Барыбин А.А. Электродинамика волноведущих структур. Теория возбуждения и связи волн - М.: Физматлит, 2007, - 512 с.
6. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии - М.: Физматлит, 2009, - 286 с.



### 1. Основы светотехники

Энергетические и световые величины и единицы. Распределение излучения по спектру. Относительные спектральные световые эффективности излучения для дневного и ночного зрения. Энергетические величины и единицы. Светотехнические величины и единицы. Телесный угол. Яркость пучка лучей.

Оптические и светотехнические характеристики материалов. Спектральные и интегральные коэффициенты отражения, пропускания и поглощения излучения.

Световое поле. Интегральные характеристики светового поля. Функция ценности поля. Пространственная, средняя сферическая, средняя полусферическая, плоскостная и средняя цилиндрическая освещенности.

Общие законы преобразования излучения. Механизм поглощения излучения. Фотографическое действие излучения. Фотобиологическое действие излучения и фотосинтез.

Глаза как органы зрения. Установившийся и неуставившийся зрительные процессы. Особенности глаза как приемника оптического излучения. Методы определения зрительных порогов. Пороговые контрасты. Светлота. Острота зрения. Эквивалентные параметры. Световая адаптация и адаптация в темноте. Зрительная индукция. Слепящее действие излучения.

Основы учения о цвете. Трехцветная теория зрения. Цвет и его компоненты. Современные цветовые системы. Цветовые расчеты в различных системах. Восприятие цвета.

### 2. Фотометрия

Основные понятия и законы геометрической оптики. Параметры оптической системы. Теория идеальной оптической системы (ИОС). Кардинальные точки ИОС. Диафрагмы ИОС, виньетирование.

Типовые оптические системы фотометрии. Сложные оптические системы. Элементы оптических систем. Принципы габаритного расчета типовых оптических систем.

Метрологические основы фотометрии. Виды и методы измерений. Эталоны и образцовые средства измерений. Использование моделей черного тела в фотометрии. Светоизмерительные лампы. Типы приёмников оптического излучения и их основные характеристики. Методы количественного регулирования излучения при измерениях.

Методы фотометрии. Основы зрительной фотометрии. Основы физической фотометрии. Принципиальные схемы физических фотометров. Фотографическая фотометрия и ее возможности. Методы измерения освещенности, силы света и

светового потока. Методы измерения яркости и фотометрических характеристик материалов.

Цветовые измерения и пирометрия излучения. Принципы зрительной и объективной колориметрии. Задачи и методы пирометрии излучения. Определение эквивалентных температур.

### **3. Источники оптического излучения**

Тепловые источники света. Основные параметры, характеризующие источники света. Закон Кирхгофа. Особенности и законы излучения черного тела. Селективные излучатели. Физические процессы, определяющие срок службы ламп накаливания. Галогенные лампы накаливания и механизм галогенного цикла.

Понятие плазмы. Идеальная и неидеальная плазма. Кинетическое уравнение Больцмана. Функция распределения электронов по энергиям в столбе разряда низкого давления, ее отличие от равновесной. Локальная и нелокальная задача для функции распределения электронов по энергиям.

Уширение спектральных линий в столбе разряда низкого давления. Перенос резонансного излучения через плазму. Форма спектральной линии внутри плазменного объема и за его пределами. Уравнение переноса излучения. Определение дивергенции вектора плотности потока излучения. Уравнение Бибермана-Холстейна. Образование и разрушение возбужденных атомов в разряде низкого давления. Удары первого и второго рода. Скорости возбуждения, ионизации и тушения.

Источники излучения низкого давления. Элементы теории излучения разрядов низкого давления. Основные характеристики люминофоров. Физический и полезный сроки службы люминесцентных ламп.

Пробой и зажигание газоразрядных ламп. Современные представления о механизме пробоя. Общие закономерности таунсендовского и стримерного механизмов пробоя. Эффект Пеннинга. Способы облегчения и управления условиями зажигания газоразрядных ламп.

Газоразрядные лампы высокой интенсивности. Элементы теории столба термических дуг. Проводимость, ток и излучение в термической плазме. Ртутные лампы высокой интенсивности, их перспективность. Принципиальные возможности металлогалогенных и натриевых ламп высокой интенсивности.

Импульсные источники света. Физические процессы в импульсных разрядах. Баланс энергии, электрические, излучательные и поглощательные свойства квазистационарной плазмы. Принцип действия лазеров. Активная среда, оптический резонатор. Устройство, отличительные особенности, основные параметры и области использования современных лазеров.

### **4. Световые приборы**

Основы теории элементарных отображений. Принципы определения и использования элементарных отображений при расчете световых приборов. Фигура

отображения светлых точек и коэффициент заполнения светлой частью поверхности оптического устройства.

Принципы расчета световых приборов. Законы формирования светового пучка и методы расчета силы света прожекторных приборов. Последовательность расчета силы света дисковых и цилиндрических френелевских линз. Способы расчета оптических устройств отражателей и рассеивателей. Принципы работы световодов.

Трассировка лучей. Прямая и обратная трассировки лучей. Рекурсивная и стохастическая трассировки лучей. Трассировка лучей методом статистических испытаний.

## **5. Пускорегулирующие устройства**

Блок-схема комплекта «лампа-аппаратура пуска и регулирования». Основные параметры, характеризующие аппаратуру пуска и регулирования. Статические и динамические вольт-амперные характеристики газоразрядных ламп.

Схемы зажигания и стабилизации работы газоразрядных ламп. Схемы зажигания газоразрядных ламп с холодными электродами. Схемы включения ламп с предварительным подогревом электродов.

Расчет и конструирование индуктивного балласта. Определение исходных данных. Конструктивный расчет дросселя.

Основные функции автоматизированных систем управления освещением (АСУО). Принципы АСУО (одноуровневое, двухуровневое управление). Структурная схема системы управления освещением и ее компоненты. Управляющие сигналы (аналоговое, цифровое управление).

Компоненты систем управления освещением. Электромагнитные компоненты. Трансформаторы и дросселя. Электронные компоненты. Диммеры.

Сигналы управления и протоколы. Аналоговое управление. Цифровое управление. Стандартные протоколы управления освещением. Сети и шины. Компьютеры в управлении освещением. Практическое значение управления освещением: эстетика, экономия энергии.

Практические системы управления освещением. Системы управления электроэнергией и зданием. Взаимодействие систем управления освещением с системами управления отоплением, вентиляцией и кондиционированием воздуха. Умный дом. Рабочее место.

## **6. Светотехнические установки**

Общие принципы нормирования светотехнических установок. Нормирование по видимости, работоспособности, технико-экономическим показателям. Качество освещения. Принципы нормирования количественных показателей освещения. Показатели ослепленности и дискомфорта, методы их определения. Цилиндрическая освещенность, способы определения и использования. Пульсация излучения. Правила и нормы искусственного

освещения. Световой климат и его составляющие. Системы естественного освещения. Дополнительное искусственное освещение. Проблемы экологии и энергосбережения в осветительных установках.

Методы проектирования установок. Выбор и принципы оценки эффективности вариантов. Выбор и определение исходных светотехнических параметров. Метод расчета мощности светотехнических установок. Схемы питания, расчет и конструктивное выполнение осветительных сетей. Системы освещения. Оптимальное расположение светильников.

Механизм действия, способы и особенности расчета, способы оценки эффективности и принципы конструирования светотехнических установок. Установки инфракрасного нагрева и отверждения лакокрасочных покрытий. Установки ультрафиолетового облучения. Фотохимические облучательные (электрографического действия) установки, установки облучения растений.

## **7. Наружное архитектурное освещение**

Обзор существующих норм и рекомендаций для наружного архитектурного освещения. Анализ норм с точки зрения их достаточности для применения в светотехнической практике. Тенденции в дальнейшей разработке и совершенствовании норм.

Обзор существующих приемов освещения различных архитектурных объектов. Анализ применимости тех или иных приемов освещения в зависимости от конкретных условий.

Обзор характеристик применяемых источников, их достоинств и недостатков. Критерии выбора источников света в зависимости от решаемой ими задачи и условиях их использования. Проблемы энергосбережения и оптимизации эксплуатационных характеристик ИС. Новейшие тенденции в развитии источников света.

Обзор существующих на сегодняшний день приборов для наружного архитектурного освещения. Подбор и размещение оборудования в зависимости от заданных условий освещения. Методики проектирования наружного архитектурного освещения. Проблемы отрицательного воздействия осветительных приборов на жителей освещаемых (соседних с ними) зданий и участников дорожного движения. Воздействие наружного освещения на окружающую среду. Способы решения указанных проблем.

Методы проведения экспертных оценок. Различные шкалы оценок: балльная, категорическая, бинарная. Критерии качества освещения.

## **8. Теория глобального освещения**

Уравнение глобального освещения. Локальные и глобальные модели освещения. Уравнение излучательности (Radiosity). Трассировка лучей. Общая схема алгоритма визуализации трёхмерных сцен. Особенности решения метода

глобального освещения в программах: текстуры, источники света, материалы, расчетный растр. Светотехнические программы и их особенности.

Представления трёхмерных объектов в программах моделирования осветительных установок. Полигональное представление. Аналитическое представление. Представление трёхмерных объектов при помощи сферических функций.

Стохастическая трассировка лучей. Прямой и обратный ход луча. Пересечение луча с поверхностью. Преломление луча на поверхности раздела. Методы Монте-Карло.

Проектирование осветительных установок (ОУ) при помощи светотехнических программ. Инженерный метод расчета ОУ. Достоинства и недостатки. Программный метод расчета ОУ, основанный на глобальном освещении. Достоинства и недостатки. Основные принципы моделирования ОУ на компьютере.

Моделирование цветоцветовой среды. Светлотные преобразования. Методы психофизических исследований. Шкалы психофизических исследований.

### Литература

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006.
2. Мешков В.В. Основы светотехники. Ч.1. – М.: Энергия, 1979.
3. Мешков В.В., Епанешников М.М. Осветительные установки. – М.: Энергия, 1972.
4. Рохлин Г.Н. Газоразрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. Гуревич М.М. Фотометрия. – Л.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Трёмбач В.В. Световые приборы. – М.: Высш. шк., 1990.
7. Будак В.П., Макаров Д.Н. Программы расчета и визуализации осветительных установок. Новости светотехники. Вып. 1 (41) / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Дом Света, 2004.
8. Варфоломеев Л.П. Электронные пускорегулирующие аппараты и системы управления освещением. Новости светотехники. – М.: Знак. 2002.
9. Шуберт Ф. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – М.: Физматлит, 2008.
10. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – М.: Энергоиздат, 2012.
11. Иванов В.С., Золотаревский Ю.М., Котюк А.Ф. Основы оптической радиометрии. – М.: Физматлит, 2003.
12. Ишанин Г.Г., Козлов М.Г., Томский К.А. Основы светотехники. – СПб.: ООО «БЕРЕСТА», 2004.
13. Щепетков Н.И. Световой дизайн города. – М.: Архитектура-С, 2006.

### **Введение**

Программа составлена на основе дисциплин направления «Электроэнергетика и электротехника», связанных с изучением процессов преобразования электроэнергии в другие виды энергии в целях достижения определенного технологического эффекта и исследованием закономерностей передачи электромагнитной энергии в вещество в целях придания **веществу** требуемых свойств.

Программа вступительного экзамена составлена в соответствии с паспортом научной специальности 05.09.10 – Электротехнология.

### **Научно-технические основы электротехнологий**

Современные проблемы использования электрической энергии для технологических процессов. Основные виды продукции с предпочтительным производством на электротехнологических установках. Классификация электротехнологических установок. Электротехнологические установки с тепловым процессом формирования требуемого качества продукции. Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую, их эффективность и распространенность в современных технологических процессах. Основные законы подобия и моделирования процессов в электротермических установках. Использование физического, математического и численного моделирования для решения задач электрического нагрева и его оптимизации.

Перспективные направления в использовании электроэнергии для технологических процессов. Географические, экономические и экологические аспекты использования электротехнологий.

### **Физические принципы и техническая реализация современных электротермических установок**

Эффект теплообразования при прохождении электрического тока по проводнику. Сопротивление проводника. Особенности тепловыделения в сопротивлении. Основные законы теплопередачи от нагревателя к объекту нагрева. Влияние геометрии рабочего пространства и третьих тел на теплопередачу. Основные методы расчета стационарных и нестационарных температурных полей. Решение тепловых задач с внутренними источниками теплоты.

Электрические печи сопротивления. Основные виды и конструкции электрических печей сопротивления. Печи прямого и косвенного нагрева, жидкостные ванны и печи с псевдокипящим слоем. Тепловой расчет печей периодического действия. Тепловой расчет печей непрерывного действия

(методических). Расчет нагревательных элементов среднетемпературных и высокотемпературных печей. Особенности конструкции нагревателей с теплоотдачей преимущественно излучением. Особенности теплового расчета электрических печей с принудительной циркуляцией атмосферы. Расчет электрических нагревателей с преимущественно конвективной теплоотдачей. Особенности расчета вакуумных печей. Методы измерения и регулирования температуры в электрических печах.

Электрический дуговой разряд как источник тепла. Параметры электрической дуги высокого и низкого давления. Влияние внешней среды на процессы тепло- и массопереноса и процесс преобразования энергии в электрических дугах. Приэлектродные процессы в электрических дугах. Коронный, барьерный, тлеющий разряды. Методы расчета электрических цепей с дуговыми разрядами в контуре цепи. Вольтамперная характеристика электрической дуги постоянного и переменного тока. Устойчивость системы с дуговым разрядом. Устойчивость дугового разряда при наличии возмущений. Влияние материала электродов и среды на устойчивость дугового разряда.

Плазма и ее разновидности. Особенности использования низкотемпературной плазмы в электротехнологических установках. Дуговые и высокочастотные плазмотроны. Вакуумные плазменные печи с полым катодом.

Дуговые печи прямого и косвенного действия. Особенности теплообразования и теплопередачи в дуговых печах. Технологические процессы выплавки стали в дуговых печах. Расчет электрических процессов в дуговой печи. Тепловой расчет и энергетический баланс процессов в дуговой печи. Источники питания и электрооборудование дуговой печи. Расчет и проектирование коротких сетей. Дуговая печь как нагрузка электрической сети. Современные тенденции в развитии систем электропитания и повышении энергетической эффективности дуговых печей.

Особенности тепловых процессов в рудно-термических (рудовосстановительных) печах. Область применения, классификация и типы рудовосстановительных печей. Источники питания, электрооборудование, методы электрического расчета энергетического баланса рудовосстановительных печей. Перспективные направления совершенствования тепловых и энергетических процессов в технологиях рудовосстановительных печей.

Вакуумные дуговые печи. Особенности технологических процессов плавки в вакуумных дуговых печах.

Установки электрошлакового переплава. Особенности технологических процессов электрошлакового переплава.

Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская электромагнитная волна, поверхностный эффект. Процесс взаимодействия электромагнитного поля с металлом. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Физические основы индукционного нагрева. Методы расчета систем «индуктор - загрузка». Коэффициент полезного

действия и коэффициент мощности системы «индуктор - загрузка». Электродинамические процессы в ферромагнитных телах. Механические усилия в электродинамических системах. Взаимодействия электромагнитного поля с плазмой и расплавленным металлом.

Канальные и тигельные индукционные плавильные печи. Расчет основных параметров тигельной и канальной печей. Магнитогидродинамические процессы в ванне печи. Электродинамические явления в каналах печей. Энергетический баланс установки. Источники питания и электрооборудование тигельных и канальных печей.

Установки индукционного нагрева промышленной, средней и высокой частоты. Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок сквозного нагрева. Источники питания и электрооборудование на средних частотах. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закалки. Ламповые генераторы. Режимы работы ламповых генераторов. Высокочастотный и сверхвысокочастотный нагрев диэлектриков и полупроводников. Установки зонной плавки.

Электронно-лучевые печи для переплава особо чистой стали и тугоплавких материалов. Мощные электронные пушки. Характеристики оптической системы электронных пушек. Электронные установки зонной очистки металлов и выращивание монокристаллов. Электронно-лучевые установки для нанесения покрытий. Энергетические характеристики электронно-лучевых установок.

### **Электротехнологические процессы в экологии**

Перспективы использования электротехнологических процессов для улучшения состояния окружающей среды. Состояние и темпы загрязнения воздушной и водной среды промышленными и бытовыми отходами. Основные электрофизические и электротехнологические методы очистки окружающей среды. Очистка воздушной и водной среды посредством озона. Основные электрофизические методы получения озона. Электрофилтры. Плазмохимические методы нейтрализации и разложения токсичных газов. Электротехнологические методы переработки твердых бытовых отходов. Методы деструкции радиоактивных отходов.

### **Системы электропитания электротехнологических установок**

Источники питания электротехнологических установок промышленной частоты. Источники питания дуговых и рудно-термических печей, выбор печных трансформаторов, методы регулирования мощности в печах. Системы управления режимом работы источника питания.

Источники питания постоянного тока для электротехнологических установок. Основные схемы выпрямления, регулирования тока и напряжения источников питания. Формирование падающих вольтамперных характеристик источников. Условия совместимости источников питания с первичной сетью.



Источники питания установок индукционного нагрева. Особенности построения схем инвертирования тока и выбор элементной базы для статических источников питания индукционных установок. Ламповые генераторы. Основные схемы генерации и регулирования мощности. Генераторные триоды, параметры ламповых генераторов.

Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.

### **Автоматическое управление электротехнологическими процессами**

Принципы и задачи автоматического управления электротехнологическими установками. Импульсные и непрерывные методы регулирования режимов электротехнологических установок. Программное управление. Понятие о самонастраивающихся системах управления.

Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры. Динамика систем непрерывного регулирования температуры. Расчет и настройка регуляторов температуры. Современные типовые регуляторы температуры.

Автоматическое управление индукционными электротехнологическими установками. Управление плавильными установками промышленной частоты. Принцип управления индукционными установками на средних частотах. Управление высокочастотными установками с ламповыми генераторами.

Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. Сталеплавильная печь как объект регулирования. Задачи управления. Промышленные регуляторы дуговых сталеплавильных печей. Системы комплексного управления дуговыми печами с применением ЭВМ. Автоматическое регулирование режима рудовосстановительных печей.

Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Требования к автоматической системе ведения плавки. Автоматические регуляторы длины дуги и мощности.

Автоматическое управление установками электрошлакового переплава. Режимы работы установки электрошлакового переплава и выбор параметров регулирования.

Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.

### **Особенности математического моделирования электротехнологических процессов**

Структура и физический смысл основных уравнений, описывающих электротехнологические и электрофизические процессы (уравнения стационарной и нестационарной теплопроводности, баланса энергии, движения и неразрывности). Уравнения электромагнитного поля (Максвелла, цепные задачи).

Плоские и цилиндрические задачи, граничные и начальные условия. Нелинейные задачи и итерационный метод их решения. Элементы вычислительной математики:

методы конечных элементов, конечных разностей.

Применение методов теории подобия к моделированию электротехнологических процессов.

Современные программные пакеты для моделирования электромагнитных и тепловых процессов.

### Основная литература

1. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротермические установки. - Алма-Аты: Мектеп, 1983.
2. Электротехнологические промышленные установки. / И.П. Евтюкова и др. – М.: Энергоиздат, 1982.
3. Электротехнические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева. Учеб. для вузов / А.Д. Свенчанский, И.Т. Жердев, А.М. Кручинин и др. – М.: Энергоиздат, 1981.
4. Васильев А.С., Гуревич С.Г., Иоффе И.С. Источники питания электротермических установок. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. Установки индукционного нагрева /Под ред. А.С. Слухоцкого. – Л.: Энергоиздат, 1981.
6. Автоматическое управление электротермическими установками. / А.М. Кручинин, Ю.М. Миронов, К.М. Махмудов, В.П. Рубцов, А.Д. Свенчанский. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Древсин С. В. Генераторы низкотемпературной плазмы // Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Т. 2. / Под ред. В.Е. Фортова. – М.: Наука: ДАИК «Наука/Интерпериодика», 2000.
8. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

### Дополнительная литература

1. Чередниченко В.С., Бородачев А.С., Артемьев В.Д. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчеты электропечей сопротивления: Т.1. – Новосибирск: Издательство НГТУ, 2006.
2. Электротехнический справочник. Т.4. Использование электрической энергии. / Под ред. В.Г. Герасимова и др. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
3. A.M. Krouchinin, A. Sawicki. *A Theory of electrical arc heating. The Publishing Office of TUCz.* 2003.
4. A.M. Krouchinin, A. Sawicki. *Modelling of the constricted arc in plasma generators. The Publishing Office of TUCz.* 2005.
5. Мармер Э.Н. Материалы для высокотемпературных вакуумных установок. – М.: Физматлит, 2007.
6. Кайдалов А.А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Киев: Электротехнология, 2004.

7. Сидоров О.Ю., Сарапулов Ф.Н., Сарапулов С.Ф. Методы конечных элементов и конечных разностей в электромеханике и электротехнологии. – М.: Энергоатомиздат, 2010.

8. Структурное моделирование электротехнологических систем и механизмов. / В.А. Иванушкин, Д.В. Исаков, В.Н. Кожеуров, Ф.Н. Сарапулов; под общ. ред. Ф.Н. Сарапулова; Нижнетагил. технол.ин-т (фил.) УГТУ-УПИ. Нижний Тагил: НТИ (ф) УГТУ-УПИ, 2006.

9. Минеев А.Р., Коробов А.И., Погребисский М.Я. Моделирование электротехнологических процессов и установок. – М.: Компания Спутник+, 2004.

10. Алиферов А., Лупи С. Индукционный и электроконтактный нагрев металлов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011.

11. А.М. Кручинин. Основы проектирования электрических и тепловых режимов электронагрева в дуговых печах.//Учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2012.

12. В.С. Чередниченко, А.С. Аньшаков, М.Г. Кузьмин. Плазменные электротехнологические установки. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008.

## **Раздел 1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

### **1.1. Электронно-дырочный переход и диоды**

Свойства чистых и примесных полупроводников. ВАХ р-п перехода. Виды пробоя р-п перехода. Влияние температуры. Статические ВАХ диода. Динамические свойства диодов. Емкости перехода. Переходные процессы в диоде. Разновидности диодов.

### **1.2. Транзисторы**

#### **1.2.1. Биполярные транзисторы**

Основные соотношения между токами электродов биполярного транзистора.

Уравнения Эберса-Молла для статических ВАХ идеализированного транзистора.

Эквивалентные схемы транзистора. Анализ переходных процессов в транзисторе методом заряда. Ключевой режим транзистора. Динамические параметры транзистора.

#### **1.2.2. Полевые транзисторы**

Устройство, принцип действия и ВАХ транзисторов с управляющим р-п переходом. МДП-транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. Современные вертикальные технологии транзисторов. Эквивалентные схемы замещения. Основные характеристики и параметры транзисторов. Переходные процессы в транзисторах.

#### **1.2.3. Современные транзисторы биполярно-полевой технологии**

Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Принципы действия.

Основные структуры транзистора. Эквивалентная схема. Характеристики и параметры IGBT. Особенности работы в ключевом режиме и режиме короткого замыкания. Анализ переходных процессов. Статические индукционные транзисторы (СИТ). Полевой и биполярно-полевой режим работы БСИТ транзисторов. Основные характеристики и параметры.

### **1.3. Тиристоры**

#### **1.3.1. Однооперационные тиристоры**

Структура и физические процессы в тиристорах. Переходные процессы включения и выключения. Предельные статические, динамические и классификационные параметры. Симисторы. Фото- и оптронные тиристоры.

### **1.3.2. Запираемые (двухоперационные) тиристоры**

Основные структуры и принцип действия тиристора. Статические и динамические характеристики. Переходные процессы в запираемых тиристорах.

### **1.3.3. Современные полевые тиристоры**

Полевые тиристоры новых технологий (МСТ-тиристоры, индукционные тиристоры, GST-тиристоры, тиристоры комбинированных технологий). Принцип действия, перспективы развития технологий.

### **1.4. Силовые интегральные схемы.**

Функциональные диодные, транзисторные и тиристорные модули. Особенности конструкции и применения. Разумные (SMART) интегральные силовые транзисторные модули. Основные параметры и характеристики. Интеллектуальные силовые модули (IPM).

## **Литература к разделу 1**

1. Пасынков В.В., Чиркин Л.К., Шинков А.Д., Полупроводниковые приборы, – М., Высшая школа, 1981.
2. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники. – М., Радио и связь, 1980.
3. Челноков В.Е., Евсеев Ю.А. Физические основы работы силовых полупроводниковых приборов. – М., Энергия, 1973.
4. Агаханян Т.М. Основы транзисторной электроники. – М., Энергия, 1980.
5. Электротехнический справочник. Т.1, – М.: изд. МЭИ, 1995.
6. Электротехнический справочник. Т.2, – М.: изд. МЭИ, 1998.
7. Воронин П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение. 2-ое изд., – М.: Изд. Дом «Додека-XX1», 2005, 384 с.
8. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005, 632 с.

## **Раздел 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЦЕПИ**

### **2.1. Линейные усилители**

Одиночные усилительные каскады на биполярных и полярных транзисторах. Усилители постоянного и переменного тока.

Операционные усилители (ОУ). Структура, основные параметры, схемотехника.

Дифференциальный каскад как основа построения современных аналоговых интегральных схем. Применение ОУ (масштабные усилители, сумматоры, интеграторы, дифференциаторы).

Основы теории обратной связи. Влияние отрицательных обратных связей на основные параметры усилителей. Устойчивость, коррекция характеристик.

## **2.2. Избирательные RC и LC схемы**

Активные RC-фильтры. RC-генераторы гармонических колебаний. Избирательные усилители и генераторы синусоидальных колебаний на основе LC контура.

## **2.3 Стабилизаторы напряжения и тока**

Параметрические стабилизаторы. Компенсационные линейные стабилизаторы. Интегральные стабилизаторы напряжения, их параметры.

## **2.4 Диодные и транзисторные ключевые схемы**

Диодные ключи, ограничители и фиксаторы уровня. Транзисторные ключи. Работа ключа на резистивную, емкостную и индуктивную нагрузки.

## **2.5 Генераторы импульсных сигналов**

Компараторы и таймеры. Схемы одновибраторов, мультивибраторов, генераторов линейно изменяющегося напряжения на ОУ, таймерах и компараторах.

## **2.6 Элементы цифровой электроники**

Логические интегральные схемы, сравнительная характеристика и параметры различных типов цифровых интегральных схем. Бистабильная ячейка, принципы построения триггеров. Типы триггерных ячеек (RS-, D-, T-, JK-триггера).

### **Литература к разделу 2**

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М., Высшая школа, 1982.
2. Гольденберг Л.М. Импульсные устройства. – М., Радио и связь, 1981.
3. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М., Энергия, 1977.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М., Высшая школа, 1982.
5. Ефимов И.Е. и др. Микроэлектроника. – М., Высшая школа, 1987.
6. Титце У., Шенк К. полупроводниковая схемотехника. – М., Мир, 1982.
7. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. – М.: Техносфера, 2005, 632 с.

## **Раздел 3. ЦИФРОВАЯ И МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ТЕХНИКА**

### **3.1. Дискретные и цифровые сигналы**

3.1.1. Импульсные сигналы. Виды и способы импульсной модуляции: амплитудно-импульсная (АИМ), широтно-импульсная (ШИМ), частотно-импульсная (ЧИМ) модуляции. Применение импульсно-модулированных сигналов для импульсного регулирования напряжения.

3.1.2. Цифровые (бинарные) сигналы. Двоично-десятичные сигналы. Способы кодирования цифровой информации. Коды с обнаружением и исправлением ошибок.

3.1.3. Логические сигналы. Понятия алгебры логики (Булевой алгебры). Логические функции. Минимизация логических зависимостей.

### **3.2. Логические элементы и модули**

3.2.1. Комбинационные элементы. Типы элементов малой и средней интеграции. Логические интегральные схемы. Логические программируемые интегральные схемы (программируемые интегральные модули).

3.2.2. Полупроводниковые запоминающие устройства (ЗУ). Постоянные и оперативные запоминающие устройства (ПЗУ и ОЗУ). ПЗУ масочного типа; однократно программируемые, репрограммируемые ПЗУ. Энергозависимые и энергонезависимые ЗУ.

3.2.3. Автоматы с памятью (последовательные схемы). Входы, выходы и внутренние состояния автомата. Автоматы Мура и Мили. Способы описания автоматов. Кодирование состояний автомата. Аппаратная реализация автоматов. Триггеры. Синхронные и асинхронные триггеры. Способы тактирования. Счетчики. Счетчики на сложение, на вычитание, реверсивные. Регистры. Организация параллельного и последовательного ввода и вывода информации.

### **3.3. Структура микропроцессорных систем**

3.3.1. Структура микропроцессорных систем: центральный процессор, память программ, память данных, контроллеры управления периферией.

3.3.2. Структура универсального микропроцессора: АЛУ, аккумулятор РОН, счетчик команд, регистр признаков, схема управления выполнением команды. Внутренняя магистраль данных, цикл выполнения команды.

3.3.3. Флаговая логика, типовые признаки условий. Организация ветвления программ. Понятие стека. Аппаратный и программный стек.

3.3.4. Подсистема ввода – вывода. Параллельный и последовательный интерфейсы.

Алгоритмы обмена, стандарты последовательных интерфейсов.

3.3.5. АЦП и ЦАП. Сопряжение с микропроцессорной системой.

3.3.6. Подсистема реального времени. Таймеры, режимы их работы. Подсистема прерывания. Взаимодействие систем реального времени, вводы-выводы и прерывания.

### **Литература к разделу 3**

1. Сташин В.В. и др. Проектирование цифровых устройств на однокристалльных микроконтроллерах. – М., Энергаториздат, 1990.
2. Козаченко В.Ф. Микроконтроллеры: руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров INTEL во встроенных системах управления. – М., изд. ЭКОМ, 1997.
3. Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхемотехника. – М., Радио и связь, 1980.

4. Бахтиаров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. – М., Сов.радио, 1980.

## **Раздел 4. СХЕМЫ И УСТРОЙСТВА СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ**

### **4.1. Выпрямители**

4.1.1. Выпрямители с идеальными вентилями трансформаторами. Однофазная двухполупериодная и мостовая схемы выпрямителя, трехфазная нулевая и мостовая схемы выпрямления. Средние, действующие и амплитудные значения токов и напряжений. Установленная мощность трансформатора.

4.1.2. Управляемые тиристорные выпрямители. Работа выпрямителя на активную, активно-индуктивную нагрузку, на противо – ЭДС. Внешняя и регулировочная характеристики. Диодно-тиристорные (полууправляемые) схемы выпрямления.

Синхронные системы импульсно-фазового управления. Одноканальные и многоканальные системы управления. Асинхронные системы управления. Пульсации выпрямленного напряжения и тока управляемых выпрямителей. Влияние характера нагрузки на режим выпрямленного тока (непрерывный, разрывной). Сглаживающие фильтры.

4.1.3. Тиристорные регуляторы переменного напряжения. Регулировочная характеристика при активно-индуктивной нагрузке.

### **4.2. Инверторы**

4.2.1. Инверторы, ведомые сетью. Принцип действия, регулирование инвертируемой мощности. Угол опережения; угол коммутации.

4.2.2. Тиристорные автономные инверторы тока. Внешние и входные характеристики.

### **4.3 Реверсивные тиристорные преобразователи с двумя вентильными комплектами**

Режимы работы при индуктивной нагрузке. Режимы работы при нагрузке типа противо-ЭДС. Совместное и раздельное управление, непосредственные преобразователи частоты. Регулирование амплитуды и частоты выходного напряжения. Способ раздельного управления группами вентилей.

### **4.4. Коэффициент мощности сетевого преобразователя**

### **4.5. Преобразователи на основе силовых ключей с полной управляемостью или на основе двухоперационных тиристоров**

Способы формирования выходного напряжения (тока) с улучшенным гармоническим составом. Модуляционные методы формирования: амплитудно-широотно-импульсная модуляция; позиционные (следающие) методы. Управление амплитудой основной гармоники выходного напряжения однофазного и трехфазного инвертора: широко-импульсное регулирование амплитудно-



широотно-импульсное регулирование. Однополярная ШИМ, двуполярная ШИМ, односторонняя и двусторонняя (центрированная) ШИМ. Структура силовых цепей, алгоритм управления ключами.

#### **4.6. Источники вторичного электропитания**

Импульсные регуляторы постоянного напряжения. Регулятор I, II и III рода.

Регулировочные характеристики. Внешние характеристики для режимов непрерывного и прерывистого тока.

#### **Литература к разделу 4**

1. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. основы преобразовательной техники. Высшая школа, 1981.
2. Полупроводниковые выпрямители. Под ред. Ковалева Ф.И. и Мостковой Г.П. – М., Энергия, 1978.
3. Розанов Ю.К. Основы силовой преобразовательной техники. Энергия, 1979.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. Высшая школа, 1982.
5. Справочник по преобразовательной технике под ред. И.М. Чиженко. Киев, Техника, 1978.
6. Силовая электроника под ред. Р. Лаппе, перев. с немецкого, Энергоиздат, 1987.
7. Электротехнический справочник. Т.2, М.: изд. МЭИ. 1998.
8. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника. – М.: Издательство МЭИ, 2007, 632 с.

## **11. Направленность – 05.14.01, Энергетические системы и комплексы**

---

шифр,название

### **1. Энергетика в современном мире**

Основные закономерности и тенденции развития энергетики и электрификации.

Природные энергетические ресурсы мира и его основных регионов. Характеристики направлений их использования.

Главные особенности мирового энергетического баланса и развития электрификации по основным регионам. Особенности существующего состояния энергетики мира и перспективы ее развития в первой половине XXI века.

Состояние и направления совершенствования энергетического баланса и электрификации в России. Основные изменения в области производства и передачи природных энергетических ресурсов, их переработки, потребления электрической и тепловой энергии, прямого расхода топлива.

Основные объективные тенденции развития энергетики и электрификации в России и за рубежом. Пропорции развития энергетики и электрификации, энерговооруженность труда. Структура конечного потребления энергии. Структура добычи, переработки, транспорта и использования энергетических ресурсов. Роль нетрадиционных видов энергии в энергетическом балансе, основные направления энергосбережения. Тенденция создания децентрализованных источников энергоснабжения, критерии эффективности.

Оптимизация структуры топливно-энергетического комплекса России и основных регионов; проблема выбора рациональных энергоносителей и направления ее решения. Методы оценки эффективности решений при взаимозаменяемости видов топлива и энергии. Энергетическая стратегия России до 2030 г.

Главные направления научно-технического прогресса в энергетике и электрификации и их эффективность, влияние региональных факторов. Особенности развития крупных систем и комплексов в электроэнергети-

ческой, газо-, тепло- и нефтеснабжающей отраслях, в ядерной энергетике и угольной промышленности. Создание энергетических комплексов.

Проблема экономии ресурсов и средств в энергетике. Главные технические пути решения проблемы. Использование возобновляемых источников энергии, потенциал энерго- и ресурсосбережения.

## **2. Комплексные проблемы энергетики**

Основные проблемы развития энергетических систем и комплексов; принципы их построения и перспективы объединения в Единую электроэнергетическую систему. Характерные графики электрической и тепловой нагрузок; методы выбора топливной базы электростанций и энергетических комплексов в увязке с оптимизацией общего энергетического баланса страны; комплексный выбор структуры электрических мощностей, типы электрических станций и их размещение; схемы электрических связей (совместно с выбором общей схемы топливно-энергетических связей в стране). Показатели качества энергии.

Схемы энергоснабжения, их основные элементы, методы расчета. Особенности выбора комбинированной и раздельной схем энергоснабжения при использовании органического топлива, ядерного горючего и возобновляемых источников энергии; влияние на эти решения особенностей схем энергоснабжения и топливоснабжения. Теплофикационные, теплоснабжающие системы и методы выбора оптимальных параметров; энергетические балансы предприятий, основы нормирования расходов топлива, и энергии. Выбор схем энергоснабжения территориально-производственных комплексов, промышленных центров, крупных предприятий.

Экологические проблемы энергетики Влияние энергетических объектов на окружающую среду. Виды воздействий и их последствия, методы оценки и нормативы. Технические возможности снижения вредных выбросов в атмосферу и почву.

Новые технологии с минимальными выбросами вредностей в атмосферу, включая углекислый газ.

Энерготехнологические переработки сланцев и низкосортных углей. Перспективы использования технологии ЦКС для эффективного и экологически безопасного сжигания твердых топлив. Традиционные и нетрадиционные способы сокращения выброса углекислого газа в атмосферу, улавливание и «секвестирование» углекислого газа в тепловой и промышленной энергетике.

### **3. Термодинамика теплоэнергетических установок**

Общая методика термодинамического анализа циклов теплоэнергетических установок. Общие методы повышения термодинамической эффективности циклов.

Паровые теплоэнергетические установки. Повышение эффективности циклов паротурбинных установок конденсационного типа. Показатели эффективности ТЭЦ и энергосистемы в целом. Особенности реальных циклов паротурбинных установок.

Газотурбинные установки (ГТУ). Простейшие циклы ГТУ, работа сжатия в компрессоре и ее уменьшение, сложные циклы ГТУ.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Общие принципы действия поршневых ДВС, термодинамический анализ циклов ДВС. Принципы действия реактивных двигателей их циклы.

Комбинированные теплоэнергетические установки. Общие принципы комбинирования циклов, циклы парогазовых установок. Сложные высокотемпературные циклы с использованием ГТУ, МГД-генераторов, топливных элементов и т.п.

Атомные теплоэнергетические установки. Особенности выбора циклов АЭС. Термодинамические циклы АЭС на жидком (паровом), и газовом теплоносителях.

Холодильные машины и тепловые насосы энергетики. Циклы газовых компрессорных термотрансформаторов. Циклы паровых холодильных установок и тепловых насосов. Перспективы использования тепловых насосных установок в составе энергетических комплексов при совместной выработке электроэнергии и тепла. Циклы теплоэнергетических установок на возобновляемых источниках энергии.

Солнечные установки. Океанические ТЭС. Геотермальные ТЭС. Термоядерные электрические станции.

#### **4. Комплексный выбор и оптимизация энергетических объектов**

Методические основы комплексного выбора схем и оптимальных параметров основных теплоэнергетических установок. Влияние режима использования энергетических систем на принятие оптимальных решений. Показатели надежности работы энергетических установок и систем. Способы обеспечения заданной надежности. Выбор оптимальных решений с использованием критерия надежности.

Методы выбора оптимальных систем прямого получения электроэнергии, их термодинамическая, энергетическая и технико-экономическая оценка. Основы энергетического и комплексного использования водных ресурсов. ГЭС в составе электроэнергетических систем. Гидроаккумулирующие электростанции. Основы выбора оптимальных параметров ГЭС.

Комплексные методы выбора запасов топлива (для многолетнего и сезонного регулирования топливоснабжения), резервов энергетических мощностей, газохранилищ, водохранилищ. Понятие расчетной обеспеченности электро-, тепло- и топливоснабжения и основы их выбора.

Технические и экономические основы использования возобновляемых источников энергии (геотермальной, ветровой, солнечной и т.п.).

Выбор энергообъектов для распределенной энергетики. Основные методики и подходы при выборе распределенных энергоисточников. Влияние типа и состава топлива на выбор энергоисточника. Анализ различных вариантов тепловых схем. Анализ типоразмеров газопоршневых и газотурбинных энергоустановок. Влияние характеристик энергоустановок на выбор профиля энергообъекта.

## **5. Методы системных исследований в энергетике и их приложения**

Классификация больших систем энергетики: понятие об их природе и основных свойствах. Особенности систем энергетики и энергетических комплексов как объектов исследования и управления.

Основные методы и средства изучения и оптимального управления (Функционированием, развитием) системами энергетики. Основы применяемых математических методов.

Концепция построения автоматизированных систем управления в энергетике и их характерные особенности. Основы сочетания формализованных методов с активной ролью человека.

Системные исследования, математические и физические модели, средства вычислительной техники как научный инструмент современных исследований в энергетике.

Методы технико-экономических расчетов в энергетике. Расчет технико-экономических показателей добычи (производства), транспорта и использования различных видов топлив и энергии, роль замыкающих затрат на топливо и энергию, методы технико-экономических расчетов в энергетике для непрерывно развивающихся систем и при использовании неоднозначной исходной информации. Комплексное использование топлива с одновременной выработкой электроэнергии и другой ценной товарной продукции как реальный путь снижения стоимости конечного продукта.

## **6. Разработка энергокомплексов с высокими экологическими показателями**

Основные изменения в области производства и передачи энергетических ресурсов, их переработки и потребления. Основные направления энергосбережения. Роль нетрадиционных источников энергии в энергетическом балансе. Тенденции в разработке и создании децентрализованных источников, критерии оценки эффективности централизованных и децентрализованных источников энергии.

Критерии оптимизации энергетических комплексов. Критерии оптимальности ТЭС, их развитие и области применения в оптимизационных расчетах. Основные принципы и методы технико-экономической оптимизации схем и параметров ТЭС. Виды ограничений при технико-экономической оптимизации, достоинства и недостатки различных методов, области применения их.

### **Основная литература**

1.Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые электрические станции. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.

2.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.: Издательский дом МЭИ, 2009.

3.Тепловые и атомные электрические станции. Справочник Под общ.ред. А.В.Клименко и В.М.Зорина. М.: Издательство МЭИ, 2007.

4.Теплоэнергетика и теплотехника (справочная серия). В 4 кн. Кн. 2:Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. М: Изд-во МЭИ, 2001.

5.Непомнящий В.А. Экономические потери от нарушения электроснабжения. - М.: Издательский дом МЭИ. 2010.-188с.

6.Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с.

7.Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.– 584 с.

8.Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ (ред. от 18.07.2011) «О теплоснабжении».

9.Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.-6-е изд., перераб.-М.: Издательство МЭИ, 2001.

10.Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2002.

### **Дополнительная литература**

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.
2. О. А. Сотникова, В. Н. Мелькумов . Теплоснабжение– М.: Изд-во: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007.- 296 с.



## **12. Направленность – 05.14.02, Электрические станции и электроэнергетические системы**

шифр, название

### **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.

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.

### **2. Режимы работы основного электрооборудования электростанций**

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

### **3. Проектирование 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. 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.

## **5. 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 исполнения 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 ГОСТом показателей качества электроэнергии. Методы и средства введения показателей качества электроэнергии в допустимые ГОСТ пределы.

## **6. 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.

## **7. 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.

## **8. 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, моделирование 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.

## **9. АСУ и оптимизация режимов работы электроэнергетических систем**

Основные задачи АСУ энергосистем. 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.

### **Основная литература:**

1. Васильев А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф. Электрическая часть станций и подстанции / Под ред. А.А. Васильева. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Околович Н.М. Проектирование электрических станций. - М.: Энергоатомиздат, 1982.
3. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Веникова и В.А. Строева. - М.: Высш. шк., 1998.
4. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
5. Веников В.А., Рыжов Ю.П. Дальние электропередачи переменного и постоянного тока. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
6. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. - М.: Энергия, 1970.
7. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. - М.: Высш. шк., 1978.
8. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
- Овчаренко Н.И. Элементы автоматических устройств энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1995.
9. Алексеев О.П., Казанский В.Е., Козис В.Л. / Автоматика электроэнергетических систем. - М.: Энергоиздат, 1981.

10. Дьяков А.Ф., Овчаренко Н.И. Микропроцессорная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем /Под ред. А.Ф. Дьякова. - М.:Изд-во МЭИ, 2000.
11. Веников А.В. Теория подобия и моделирования. М.: Высш. шк., 1976.
12. Электрические сети и системы. Математические задачи электроэнергетики. /Под ред. В.А. Веникова. - М.: Высш. шк., 1981.
13. Фокин Ю.А. Вероятностно-статистические методы в расчетах надежности систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
14. Методы оптимизации режимов энергосистем / Под ред. В.М. Горнштейна. - М.: Энергоиздат, 1981.
15. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. - М.: Высш. шк., 1983.

#### **Дополнительная литература:**

1. Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / Под ред. Л.Г. Мамиконянца. М: Энергоатомиздат, 1984.
3. Эксплуатация турбогенераторов с непосредственным охлаждением. Под ред. Л.С.Линдорфа, Л.Г.Мамиконянца. - М.: Энергия, 1972.
4. Лосев СБ., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в несимметричных режимах электрических систем. М: Энергоатомиздат, 1983.
5. Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях. /Под ред. В.А.Веникова. - М.: Энергоатомиздат, 1983.
6. Веников В.А., Идельчик В.И., Лисеев М.С. Регулирование напряжения в электроэнергетических системах. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Дальние электропередачи в примерах / Г.К. Зарудский, Е.В. Путятин и др. - М.: Изд-во МЭИ, 1994.
8. Баринов В.А., Совалов С.А. Режимы энергосистем: методы анализа и управления. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Крючков И.П. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.
10. Ю.Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. - М.: Энергия. 1979.
11. Экспериментальные исследования режимов энергосистем / Под ред. С.А. Совалова. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
12. Портной М.Г., Рабинович Р.С. Управление энергосистемами для обеспечения устойчивости. М.: Энергия, 1975.
13. Дьяков А.Ф., Платонов В.В. Основы проектирования релейной защиты электроэнергетических систем. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.
14. Алексеев О.П., Козис В.Л., Кривенков В.В. Автоматизация электроэнергетических систем. - М.: Энергоатомиздат, 1994.

15. Казанский В.Е. Измерительные преобразователи тока в релейной защите. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
16. Чернобровое Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.
7. Щербачев О.В., Зейлигер А.Н., Кадомская К.П. Применение цифровых вычислительных машин в электроэнергетике / Под ред. О.В. Щербачева. Л.: Энергия, 1980.



### **1. Фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики**

Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопроецессы в идеальных газах. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопроецессов. Второй закон термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы и их применение в термодинамических расчетах. Теплопроводность в твердых телах. Уравнение теплопроводности. Процессы нестационарной теплопроводности. Конвективный тепло- и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Виды граничных условий для уравнений сохранения. Законы Ньютона, Фурье и Фика. Основы теории пограничного слоя. Способы расчета коэффициентов теплоотдачи при естественной и вынужденной конвекции. Тепло- и массообмен при фазовых превращениях. Расчет коэффициентов теплоотдачи при кипении и конденсации. Методы численного решения уравнений тепло- и массопереноса.

Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Контактный теплообмен. Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана—Больцмана. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах. Процессы смесеобразования. Молекулярная и турбулентная диффузия. Смесеобразование в турбулентных слоях. Аналогия между диффузией и теплообменом. Процессы воспламенения и распространения пламени. самовоспламенение и зажигание горючих смесей. Тепловая и цепная теория самовоспламенения. Механизм и кинетика горения индивидуальных газов. Механизм термического разложения углеводородов. Диффузионный, кинетический и смешанный принципы сжигания.

### **2. Источники и системы теплоснабжения предприятий**

Методы определения потребности промышленных потребителей в паре и горячей воде. Тепловые сети. Методы определения расчетного расхода воды и пара. Тепловой и прочностной расчеты элементов тепловых сетей. Промышленные котельные. Тепловые схемы и их расчет. Методы распределения нагрузки между котлами. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных. Теплоэлектроцентрали промышленных предприятий. Методика определения энергетических показателей теплоэлектроцентралей. Утилизационные котельные, теплонасосные установки и ТЭЦ, использующие вторичные энергетические ресурсы предприятий для генерации тепла и электроэнергии. Когенерационные и тригенерационные установки. Теплонасосные и холодильные установки, области применения, показатели эффективности.

### **3. Котельные установки и парогенераторы**

Источники теплоты промышленных котельных установок. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах. Пароперегреватели котлов. Методы регулирования температуры пара. Экономайзеры и их включение в питательные магистрали. Конструктивные схемы воздушных подогревателей. Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией. Водогрейные и паро-водогрейные котлы. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями. Котлы, использующие теплоту технологического продукта.

### **4. Тепломассообменное оборудование предприятий**

Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смесительные теплообменники. Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки. Тепловые схемы и принцип работы. Физико-химические и термодинамические основы процессов выпаривания и кристаллизации. Основы теплового расчета. Перегонные и ректификационные установки. Физико-химические и термодинамические основы процессов перегонки и ректификации. Процессы термовлажностной обработки воздуха. Теплообменники с влаговыпадением. Сушильные установки. Понятие и процессы сушки. Формы связи влаги с материалом. Основы кинетики и динамики сушки. Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты вентиляционных выбросов, отработанного сушильного агента, низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.

### **5. Тепловые двигатели и нагнетатели**

Место нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров. Схемы поршневых компрессоров. Принцип работы поршневого детандера. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Теоретическая характеристика нагнетателя. Общая классификация потерь в нагнетателях. Способы изменения характеристики вентилятора. Особенности работы насосов в сети. Центробежные и осевые компрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора. Типы паровых турбин. Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Принципиальные схемы паротурбинных установок. Схемы газотурбинных установок. Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных установок. Особенности работы турбодетандеров. Газопоршневые двигатели. Энергетические установки на основе

органического цикла Ренкина. Принцип действия и область применения двигателей Стирлинга.

## **6. Технологические энергоносители предприятий**

Системы производства и распределения энергоносителей на промышленных предприятиях. Характеристика энергоносителей. Методика определения потребности в энергоносителях. Система воздухообеспечения. Прямоточные, оборотные и бессточные системы технического водоснабжения. Расчет системы газоснабжения. Газовый баланс предприятия. Проблемы очистки, аккумуляции, использование избыточного давления. Проблемы защиты окружающей среды. Системы холодоснабжения

## **7. Энергетика теплотехнологии**

Методологические основы создания энерго- и материалосберегающих, экологически совершенных теплотехнологических установок и систем. Метод предельного энергосбережения.

Энергоэкономические и технологические характеристики источников энергии в теплотехнологии, их взаимосвязь с физико-химическим содержанием и организацией технологического процесса. Основные принципы и критерии сравнительной оценки и выбора источников энергии теплотехнологии. Принципы эффективного комбинирования источников энергии. Способы термохимической подготовки топлива и других энергоносителей к использованию в теплотехнологических установках. Технология сжигания топлива в высокотемпературных теплотехнологических установках. Огневое обезвреживание и регенерация производственных отходов.

Материальный, энергетический, тепловой, эксергетический балансы теплотехнологических установок и систем. Оценка материальных и энергетических потерь, система КПД.

Термодинамические идеальные теплотехнические установки и системы. Теоретический минимум энергозатрат (расход топлива) на процесс. Энергоэкономические критерии оценки совершенства тепловых схем теплотехнологических установок. Принципы построения энергосберегающих тепловых схем.

Энергоэкономический анализ, структурная и параметрическая оптимизация тепловых схем с регенеративным теплоиспользованием, с внешним замыкающим технологическим и внешним замыкающим энергетическим теплоиспользованием. Оптимизация комбинирования регенеративного, внешнего технологического и внешнего энергетического теплоиспользования. Тепловые схемы технологических, комбинированных и энергетических систем и комплексов.

Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнических

принципов плотного фильтруемого, кипящего, взвешенного и пересыпающегося слоев технологического материала.

Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнического принципа погруженного в расплав факела.

Тепло- и массообмен в расплавах в отсутствие и при наличии газового барботажа. Плавление технологического материала, нагрев расплава, растворение твердых частиц и гомогенизация расплава в ванне. Нагрев изделий и заготовок в расплаве.

## **14. Направленность – 05.14.08, Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии**

шифр, название

### **1. Возобновляемые виды энергии и энергоустановки на их основе**

Источники возобновляемых видов энергии и их особенности. География энергоресурсов. Основные понятия и определения в практике исследования и использования возобновляемых видов энергии. Современное информационное обеспечение для оценки ресурсов ВИЭ. Параметры возобновляемых видов энергии и методы их измерения. Основные категории потенциалов ВИЭ и методы их расчета. Современное состояние и перспективы использования возобновляемых видов энергии. Место и значение ВИЭ в современном топливно-энергетическом комплексе мира и России. Технические особенности использования ВИЭ в системах централизованного и децентрализованного энергоснабжения. Экономические аспекты использования ВИЭ.

### **2. Модели и технологии использования энергоустановок на основе солнечной энергии**

Источники потенциала солнечной энергии. Солнечная радиация: прямая и диффузная. Спектры внеатмосферного и наземного солнечного излучения. Методы измерения солнечной радиации. Методы расчета прихода солнечной радиации на произвольно ориентированную площадку в произвольно взятой ее точке поверхности Земли. Зависимость солнечной радиации от времени года и широты местности. Поглощение в атмосфере (оптическая масса). Оптимальная ориентация приемника солнечного излучения.

Основные категории потенциала солнечной энергии и методы их расчёта. Кадастр солнечной энергии. Основные виды солнечных энергоустановок (СЭУ) и станций (СЭС): электроснабжения, горячего водоснабжения, отопления, охлаждения, сушки, опреснения, гидролиза и т. п.

Башенные СЭС. Основная технологическая схема, ее компоненты и; энергетические характеристики. Уравнение движения Солнца и гелиостатов. Затенение и блокировка гелиостатов. Коэффициент улавливания приёмником солнечной радиации. Тепловой приемник и методы его расчёта. Оптимизация системы «концентратор (гелиостаты) - приемник».

СЭС на основе солнечных прудов. Технологическая схема преобразования энергии и ее компоненты. Термальный градиент. Теплоаккумулирующая характеристика солнечных прудов. Методы расчета основных параметров СЭС на основе солнечных прудов.

Фотоэлектрические СЭС. Структура солнечных элементов и принципы их работы. Фотоэлектрические свойства цепи и нагрузки фотоэлементов. Основные виды потерь энергии и факторы, влияющие на КПД фотоэлемента. Конструкции солнечных элементов. Основные технические требования к материалам солнечных элементов. Жесткие и гибкие фотоэлементы. КПД основных типов фотоэлементов. Фотоэлектростанции.

Солнечные коллекторы и их разновидности. Принцип действия, основные конструктивные особенности, КПД солнечных коллекторов. Расчет температурного поля тепловых потерь, отвода тепла, оптического КПД. Селективные покрытия их разновидности и свойства.

Системы солнечного горячего водоснабжения и отопления, методы расчета систем солнечного теплоснабжения (ССТ). Аккумуляция тепла в ССТ. Принцип действия, конструктивные особенности и методы расчета подогревателей воды и воздуха, сушилок, кондиционеров, холодильников, опреснителей воды на базе ССТ.

Пассивные солнечные системы (ПСС). Основные типы и их особенности. ПСС с непосредственным обогревом помещений (солнечные окна, оранжереи, теплицы, прозрачная крыша), с обогревом пассивного элемента вне помещения (стена Тромба, контейнеры с водой на крыше зданий и т. п.). Энергетические характеристики ПСС. Аккумуляция тепла элементами зданий и конструкций. Использование пристроенных и встроенных теплиц в качестве приемников солнечного тепла.

Космические СЭС (КСЭС). Основные схемы преобразования и концентрации солнечного излучения на КСЭС (фотоэлектрические, машинные и прямые преобразования энергии Солнца). Достоинства и недостатки схем. Проблемы сооружения КСЭС и передачи энергии на Землю. Перспективные системы передачи энергии с КСЭС на Землю (СВЧ-излучение, лазерный луч).

Использование СЭС для энергоснабжения централизованных и автономных потребителей.

Этапы проектирования СЭУ и СЭС. Выбор и обоснование площадки для строительства, типа и основных параметров СЭС.

Эксплуатационные особенности и режимы различных типов СЭС. Надежность работы и технико-экономические показатели эксплуатации СЭС.

### **3. Модели и технологии использования энергоустановок на основе энергии ветра**

Источники потенциала ветровой энергии. Основные характеристики ветра и методы определения. Краткосрочные вариации скорости ветра: турбулентность, порывистость ветра. Энергетические характеристики ветра: мощность и энергия. Влияние топографии местности на формирование ветра: шероховатость местности, формы земной поверхности, препятствия. Вертикальный профиль ветра. Характерные функции распределения скорости ветра (распределения Рэля, Вейбулла, Гринцевича и др.). Роза ветров. Основные категории потенциала ветровой энергии и методы их расчета. Кадастр ветровой энергии. Основные технические схемы использования энергии ветра и их классификация.

Преобразование энергии ветра (элементы аэродинамики). Осевая и подъемная сила, рабочий момент и мощность. Потери энергии. Методы получения энергетических характеристик ветроколеса. Способы установки ветроколеса на ветер. Гироскопический момент ветроколеса. Способы

регулирования частоты вращения и мощности ветроколеса.

Конструктивные особенности и энергетические характеристики основных элементов ветроэнергетической установки. Режимы работы ветроколеса. Быстроходность и ее связь с коэффициентом мощности. Основные виды потерь энергии. Ветроустановки, предназначенные для производства электроэнергии, тепла, механической энергии, и их особенности.

Ветроустановки с горизонтальной осью вращения. Основные элементы конструкции. Одно- и многолопастные системы ВЭУ с различными способами ориентации на ветер. Энергетические характеристики ВЭУ. Особенности режимов работы ВЭУ.

Ветроустановки с вертикальной осью вращения. Основные элементы конструкции. Одно- и многоярусные системы.

Конструкции мультипликаторов и генераторов, их энергетические характеристики.

Баланс энергии ВЭУ. Концентраторы воздушного потока, особенности конструкции, эффективность.

Этапы проектирования ВЭС. Выбор площадки для размещения ВЭУ. Ветромониторинг. Выбор оборудования ВЭУ. Классы безопасности ВЭУ. Климатическое исполнение ВЭУ. Критерии энергоэффективности ВЭУ. Транспорт и монтаж ВЭУ.

Ветроэлектростанция (ВЭС). Схемы оптимального размещения ВЭУ друг относительно друга и ветрового потока с учетом розы ветров. Эффект затенения.

Режимы работы ВЭУ. Электромеханические переходные процессы в ВЭУ. Эксплуатационные характеристики ВЭУ.

#### **4. Модели и технологии использования энергоустановок на основе гидравлической энергии**

Источники потенциала большой и малой гидроэнергетики (МГЭ). Методы измерения напора и расхода воды. Особенности формирования водосборов и водостоков. Вводно-энергетический кадастр водотоков.

Энергия морских волн и течений. Источники потенциала и их особенности. Энергия и мощность волны и методы ее использования. Методы использования энергии волн при непрерывном волновом движении. Распределение волнового потенциала.

Энергия приливов. Источники потенциала и их особенности. Основные характеристики приливной волны в зависимости от времени и основных влияющих факторов, методы их расчета.

Основные категории потенциала малой гидроэнергетики (включая волны и приливы) и методы их расчета. Водно-энергетический кадастр.

ГЭС: классификационные признаки. Основные методы и способы концентрации напора и расхода воды. Основные типы и виды турбин ГЭС и МГЭС, их энергетические характеристики, методы получения. Водоподводящие и водоотводящие сооружения и их энергетические

характеристики. Нетрадиционные схемы и виды оборудования МГЭС.

Основные типы гидрогенераторов ГЭС и МГЭС. Энергетические характеристики гидрогенераторов. Методы выбора и обоснования основных параметров гидроагрегатов МГЭС.

Волновые электростанции (ВлЭС). Основные типы и схемы ВлЭС. Баланс мощности ВлЭУ и ВлЭС. Основные энергетические характеристики элементов ВлЭУ и методы их расчета.

Приливные электростанции (ПЭС). Энергия и мощность приливных течений и приливного подъема - спада воды. Схемы использования энергии приливов: одно- и многобассейновые; с обратимыми и необратимыми агрегатами; с гидравлической аккумуляцией энергии. Методы выбора и обоснования основных параметров оборудования ПЭС.

*Аккумуляция и транспорт энергии (6 семестр, 32 часа)*

Назначение аккумуляторов энергии и принципы ее накопления: биологический, химический, тепловой, электрической, механический. Основные характеристики.

Энергоаккумулирующие установки (ЭАкУ) и станции (ЭАкС). Гидроаккумулирующие, тепловые, индуктивные, водородные и другие виды аккумуляции энергии. Технологические циклы ЭАкУ и принцип их действия. КПД аккумуляции. Основные энергетические характеристики, методы их получения и расчета. Глубина и скорость заряда-разряда. Длительность цикла аккумуляции. Гарантированное число циклов заряда-разряда. Преобразователи энергии ЭАкУ.

Транспорт первичной (ресурс) и вторичной (продукт) энергии. Основные способы передачи энергии (трубопроводный, кабельный, воздушный, контейнерный и т. п.), их особенности и характеристики.

## **5. Основные технические схемы преобразования возобновляемых видов энергии (ВВЭ)**

Основные энергетические характеристики преобразования энергии. Методы расчета и измерения основных параметров и характеристик в установившихся и переходных режимах.

Энергетические комплексы (ЭК). Основные схемы ЭК, принципы их работы на автономного потребителя и объединенную энергосистему. Методы расчета основных энергетических параметров ЭК с аккумуляторами энергии разного вида.

Основные этапы проектирования схем установок и станций на базе ВВЭ. Исходная информация, методы ее получения и хранения. Параметры энергоустановок и методы их расчета.

Расчет краткосрочных и длительных режимов работы энергоустановок на базе разных ВВЭ для обоснования их проектных параметров.

Автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) энергообъектов на базе ВВЭ и их особенности.



## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература:

1. Ветроэнергетика: учебное пособие / Васьков А.Г., Дерюгина Г.В., Малинин Н.К., Пугачев Р.В.– М.: Издательство МЭИ, 2016 г.
2. Цгоев Р.С. Нетрадиционная ветроэнергетика: учебное пособие / – М.: Издательство МЭИ, 2014 г.
3. Методы расчёта ресурсов возобновляемых источников энергии. Учебное пособие / Бурмистров А.А., Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Кунакин Д.Н., Малинин Н.К., Пугачев Р.В. – М.: Издательство МЭИ, 2-ое изд., 2008, 144 с.
4. Солнечная энергетика. Учебное пособие / Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. – М.: Издательство МЭИ, 2008, 276 с.
5. Альдо В. да Роза. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы. Учебное пособие. - М.: Издательство Медиа Формат 2010 г. – 704 с.
6. Гидроаккумулирующие электростанции в современной электроэнергетике./ Синюгин В.Ю., Магрук В.И., Родионов В.Г., М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2008г.
7. Дьяконов В.П. Matlab 7. - М:ДМК Пресс. 2008. -768 с.

### Дополнительная литература:

1. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие - М: КНОРУС, 2010 г.
2. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии: учебное пособие, СПб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. - 224 с.
3. Александровский А.Ю., Силаев Б.И. Обоснование параметров проектируемой ГЭС Методическое пособие по курсу. Издательский дом МЭИ, 2006 г.
4. Гидроэнергетика. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. В.И. Обрезкова. М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Гидроэлектрические станции / Под ред. В.Я. Карелина и Г.И. Кривченко. М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Виссарионов В.И., Золотов Л.А. Экологические аспекты возобновляемых источников энергии. М.: Изд-во МЭИ, 1996. – 1 экз.
7. Накопители энергии / Под ред. Д. А. Бута. М.: Энергоатомиздат, 1991.
8. Васильев Ю.С., Харитонов Н.И. Экология использования возобновляющихся энергоисточников. Л.: ЛГУ, 1991.
9. Водно-энергетические и водохозяйственные расчеты / Под ред. В.И. Виссарионова. М.: Изд-во МЭИ, 2001.

**1. Электрофизические процессы в газах, жидких и твердых диэлектриках.**

Движение заряженных частиц в электрическом поле. Их энергия и скорость дрейфа, подвижность. Диффузия, амбиполярная диффузия. Столкновения частиц, их вероятность, сечение столкновения, средняя длина свободного пробега. Упругие и неупругие столкновения частиц.

Процессы диссоциации молекул. Процессы возбуждения и ионизации атомов и молекул. Различные виды ионизации в газах. Образование и развал отрицательных ионов. Процессы ионной и электронной рекомбинации. Процессы на катоде: авто- и фото- и термоэлектронная эмиссия.

Поведение ионизованного газа в электрических и магнитных полях. Понятие плазмы. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма.

Поляризация диэлектриков в постоянном и переменном электрическом поле, виды поляризации. Механизмы появления свободных электрических зарядов в диэлектриках. Виды электропроводности жидких диэлектриков. Проводимость твёрдых диэлектриков. Диэлектрические потери, тангенс угла диэлектрических потерь, влияние температуры.

**2. Теория и практика электрических разрядов в условиях, характерных для техники высоких напряжений.**

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Условие самостоятельности разряда. Понятия начального напряжения возникновения разряда и пробивного напряжения. Закон Пашена и закон подобия электрических разрядов. Разряд в сильно неоднородном электрическом поле. Влияние полярности на начальные напряжения. Лавинная, стримерная и лидерная формы разряда. Условия лавинно-стримерного и стример-лидерного перехода, влияние полярности на пробивные напряжения. Развитие разряда при импульсных напряжениях. Время формирования разряда, понятие вольт-секундной характеристики. Вольт-секундные характеристики воздушных промежутков при грозовых и коммутационных импульсах.

Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальная напряжённость коронного разряда. Униполярный и биполярный коронные разряды. Распределение напряженности электрического поля и плотности объёмного заряда в промежутке при униполярном коронном разряде. Вольт-амперная характеристика коронного разряда. Потери на

корону при переменном напряжении на проводах линии электропередачи. Электромагнитные и акустические помехи. Разряд в газе вдоль поверхности твёрдого диэлектрика. Влияние структуры электрического поля, материала и толщины слоя твёрдого диэлектрика на начальные и пробивные напряжения поверхностного разряда. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязнённой и увлажнённой поверхности диэлектрика.

Механизмы пробоя жидких диэлектриков. Пробой жидкости и предразрядные процессы, влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости. Формы пробоя твёрдых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида и длительности воздействующего напряжения. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков.

### **3. Физика молнии и молниезащита**

Электричество атмосферы, глобальная электрическая цепь. Электрические характеристики «ясной погоды» и различных типов облаков. Механизмы электризации частиц в облаках. Теория грозы.

Виды молнии. Физическая картина формирования разряда молнии. Электрические характеристики разрядов молнии. Статистический характер параметров молнии. Характеристики грозовой деятельности. Опасные воздействия молнии на поражаемые объекты. Общая характеристика электромагнитных, газодинамических, тепловых и электродинамических воздействий молнии. Молниеотводы. Основные элементы конструкции молниеотводов и требования к ним. Защитное действие молниеотводов. Методика определения зон защиты молниеотводов по экспериментальному, электрогеометрическому и вероятностному методу. Зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов.

Заземление молниеотводов. Естественные и искусственные заземлители. Стационарное и импульсное сопротивление заземлителей. Молниезащита воздушных линий электропередачи (ВЛ). Грозовые отключения ВЛ, защищаемых тросовыми молниеотводами. Кривая опасных параметров. Грозовые отключения ВЛ без тросовых молниеотводов. Грозовые отключения ВЛ при индуктированных перенапряжениях. Применение защитных аппаратов на ВЛ для повышения эффективности молниезащиты. Молниезащита электрических подстанций. Защита от прямых ударов молнии. Защита подстанции от импульсов грозových перенапряжений, набегающих с линии. Защищенный подход к подстанции. Методика оценки эффективности молниезащиты подстанции. Молниезащита зданий,

промышленных сооружений и коммуникаций. Классификация зданий и сооружений по степени опасности поражения молнией. Особенности молниезащиты взрывоопасных и пожароопасных объектов. Молниезащита летательных аппаратов. Особенности поражения молнией летательных аппаратов и их молниезащиты. Персональная защита от молнии.

#### **4. Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничение**

Перенапряжения при дуговых замыканиях на землю в сетях 6-35 кВ с изолированной нейтралью. Компенсация емкостных токов замыкания на землю в сетях 6-35 кВ.

Феррорезонансные перенапряжения. Феррорезонансные перенапряжения в сетях с электромагнитными трансформаторами напряжения.

Перенапряжения при работе вакуумных выключателей. Механизмы возникновения перенапряжений. Перенапряжения при коротких замыканиях на линии и при их отключении. Перенапряжения на ВЛ при автоматическом повторном включении. Установившиеся перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения. Влияние емкостного эффекта, насыщения стали трансформаторов, коронного разряда и подключённых реакторов на напряжение промышленной частоты. Перенапряжения при несимметричных коротких замыканиях на воздушных линиях. Ограничители перенапряжений (ОПН). Конструкция ограничителей. Энергоемкость ОПН.

#### **5. Изоляция установок высокого напряжения**

Основные требования к электрической изоляции, условия работы.

Внешняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Характерные изоляционные промежутки в атмосферном воздухе. Особенности внешней изоляции. Разрядные напряжения чисто воздушных промежутков при разных видах воздействующего напряжения.

Линейная изоляция. Конструкции и материалы изоляторов. Выбор типа и числа изоляторов и воздушных изоляционных промежутков ВЛ и открытых распределительных устройств. Вольт-секундные характеристики. Внутренняя изоляция установок и оборудования высокого напряжения. Требования, предъявляемые к изоляции и изоляционным материалам. Основные виды внутренней изоляции. Электрическая прочность внутренней изоляции. Понятие о кратковременной и длительной электрической прочности. Основные факторы, влияющие на кратковременную электрическую прочность внутренней изоляции. Старение изоляции.

Механизмы старения. Частичные разряды и их характеристики. Длительная электрическая прочность внутренней изоляции: закономерности старения изоляции, основные технические средства ограничения темпов электрического старения. 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.

Структура изоляции силовых трансформаторов: главная и продольная изоляция. Маслобарьерная изоляция силовых трансформаторов. Кратковременная и длительная электрическая прочность внутренней изоляции трансформаторов и конденсаторной изоляции. Кабельные линии: области применения, виды изоляции силовых кабелей высокого напряжения. Конструкция изоляции кабелей высокого напряжения с градированием изоляции и без градирования. Изоляция кабельных муфт. Проходные изоляторы: конструкции, изоляционные материалы. Элегазовые изоляционные конструкции: выключатели и измерительные трансформаторы с элегазовой изоляцией, КРУЭ. Разрядные характеристики промежутков с элегазовой изоляцией при различных формах воздействующего напряжения и давления.

## **6. Испытания и диагностика изоляции в условиях эксплуатации**

Задачи диагностики и контроля технического состояния изоляции оборудования и установок высокого напряжения. Координация изоляции устройств высокого напряжения.

Общие правила проведения испытаний изоляции высоким напряжением промышленной частоты, грозовыми и коммутационными импульсами, постоянным (выпрямленным) напряжением. Особенности воздействия на изоляцию разных видов испытательного напряжения.

Контроль состояния изоляции установок высокого напряжения по характеристикам частичных разрядов (ЧР). Основы электрического и акустического методов регистрации и измерения характеристик ЧР. Связь тангенса угла диэлектрических потерь с основными электрическими характеристиками однородной и неоднородной изоляции. Факторы, влияющие на результаты измерений  $\text{tg}\delta$ . Измерение тангенса угла диэлектрических потерь. Использование явления абсорбции для оценки состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Основные внешние проявления абсорбционных процессов при постоянном и переменном напряжениях, использование их для диагностики. Измерение сопротивления

изоляции. Ёмкостные методы контроля влажности изоляции. Контроль состояния маслonaполненного оборудования путём испытания проб масла. Измерение физико-химических характеристик масла, нормы, выявляемые дефекты. Хроматографический анализ газов, растворённых в масле. Акустический и тепловизионный контроль состояния изоляции оборудования высокого напряжения. Ультразвуковая дефектоскопия.

## **7. Испытательные и электрофизические установки высокого напряжения**

Испытания высоким напряжением и сильными токами. Цели и объекты испытаний, общая схема испытательных комплексов, нормированные испытательные высокие напряжения и импульсные токи. Испытательные установки высокого напряжения промышленной частоты. Испытательные трансформаторы высокого напряжения, каскадные схемы испытательных трансформаторов и резонансные схемы для испытаний переменным высоким напряжением. Установки высокого напряжения постоянного тока. Схемы с выпрямителями, каскадный выпрямитель. Электростатический генератор Ван-де-Граафа, роторный генератор. Генераторы импульсных напряжений (ГИН). Основные схемы одноступенчатых и многоступенчатых ГИН, их элементы и параметры. Типы накопителей энергии для испытательных и электрофизических установок и их характеристики. Ёмкостные накопители энергии. Разрядный контур ёмкостного накопителя энергии и его схема замещения. Индуктивные накопители энергии. Работа индуктивного накопителя энергии на омическую, индуктивную и ёмкостную нагрузку. Механические накопители энергии. Основные типы ударных генераторов и их характеристики. Накопители энергии с распределёнными параметрами. Основные типы формирующих линий и их свойства. Основные схемы ГИН на основе длинных линий без умножения и с умножением напряжения. Генератор Блюмляйна. Измерение высоких напряжений. Измерительные шаровые разрядники, электростатические вольтметры. Делители напряжения. Требования к делителям, общая схема замещения, типы, частотные характеристики, реакция на прямоугольный импульс. Омические делители напряжения. Ёмкостные делители напряжения. Смешанные делители напряжения. Измерение сильных токов. Измерение сильных импульсных и периодических токов с помощью шунтов. Измерение сильных токов с помощью воздушного трансформатора тока и устройства на основе эффекта Холла. Измерения напряжённости электрического поля. Измерения напряжённости магнитного поля. Электрофизические установки высокого

напряжения. Ускорители макротел. Рельсотроны, индукционные ускорители. Формирование и ускорение электронных пучков.

## **8. Высоковольтные электротехнологические процессы, устройства и аппараты**

Направления применения высоких напряжений и сильных токов в технологических процессах. Характеристика аэрозольных систем. Зарядка частиц. Силы, действующие на частицы в электрических полях. Движение заряженных частиц. Сопротивление среды движению частиц. Числа Рейнольдса и Стокса. Осаждение частиц из ламинарного и турбулентного потока.

Процессы на осадительном электроде. Силы адгезии частиц к электроду. Поведение отдельно взятой частицы в электрическом поле в поле коронного разряда. Характеристики порошкового слоя. Зарядка и разрядка слоя на электроде. Обратная корона с порошкового слоя. Время возникновения обратной короны. Сила, действующая на слой в электрическом поле и при коронном разряде в промежутке. Влияние слоя на вольт-амперную характеристику коронного разряда. Коллективные процессы в аэрозольных системах. Электростатическое рассеяние монодисперсного аэрозоля. Влияние концентрации частиц на характеристики коронного разряда. Движение частиц по силовым линиям электрического поля. Движение частиц поперек силовых линий. Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей. Очистка газов от аэрозольных частиц электрофильтрами. Конструкция электрофильтров. Степень очистки газов в электрофильтрах. Особенности определения эффективности осаждения в электрофильтрах. Способы борьбы с обратной короной в электрофильтрах. Электросепарация. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Трибоэлектростатическая сепарация. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация. Нанесение покрытий в электрическом поле. Электроокраска.

Электропневмораспылители. Нанесение порошковых покрытий. Электропечать. Технологии обезвоживания нефтепродуктов. Высоковольтные плазмохимические технологии. Основы плазмохимических преобразований. Генераторы озона и озонные технологии. Электросинтез озона. Технологии конверсии газов в плазме газового разряда. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда. Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества. Нейтрализаторы зарядов статического электричества. Высоковольтные

технологии импульсного воздействия на материалы. Электрогидравлические технологии. Электроэрозионная обработка материалов. Магнитно-импульсная обработка материалов.

## **9. Методы расчета электрических и магнитных полей в технике высоких напряжений**

Основные уравнения и граничные условия, описывающие электростатическое поле. Методы эквивалентных зарядов и интегральных уравнений для случаев однородной и неоднородной сред. Применение метода эквивалентных зарядов для расчёта электрических полей вблизи воздушных линий электропередачи. Применение метода интегральных уравнений для расчёта электрических полей устройств высокого напряжения. Принципы расчёта электрических полей методом конечных элементов. Метод конечных разностей для расчета электрических полей в однородных средах. Понятие самосогласованного электрического поля с объёмным зарядом и особенности его расчёта. Постановка задачи расчета магнитного поля промышленной частоты вблизи объектов электроэнергетики. Магнитные поля систем проводников с током. Магнитные поля в пролете воздушных линий электропередачи.

## **10. Электромагнитная совместимость**

Источники электромагнитных воздействий на объектах электроэнергетики. Чувствительные к электромагнитным воздействиям оборудование и системы на объектах электроэнергетики. Каналы передачи помех. Кондуктивные и полевые помехи. Нормативная база обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Закон об электромагнитной совместимости. Допустимые уровни электромагнитных помех на объектах электроэнергетики.

Биологические проблемы обеспечения электромагнитной совместимости на объектах электроэнергетики. Допустимые электрические и магнитные поля для населения и персонала на рабочих местах. Методы и средства определения электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики. Методы и средства защиты от электромагнитных воздействий вторичного оборудования и систем связи.

### **Основная литература:**

1. Бортник И.М., Белогловский А.А., Верещагин И.П., Вершинин Ю.Н., Калинин А.В., Кучинский Г.С., Ларионов В.П., Монастырский АЕ., Орлов А.В., Пинталь Ю.С., Сергеев Ю.Г., Соколова М.В., Темников А.Г. Электрофизические основы техники высоких напряжений. Учебник для



вузов / Под ред. Верещагина И.П. - М: Издательский дом МЭИ, 2010. - 704 с.

2. А.Ф. Дьяков, Б.К. Максимов, Р.К. Борисов, И.П. Кужекин, А.Г. Темников, А.В. Жуков. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике. Учебник для вузов, 2-е издание, исправл. и дополн. - М.: Издательский дом МЭИ, 2011. - 544 с.

3. Высоковольтные электротехнологии. Учеб. пособие / О.А. Аношин, А.А. Белогловский, И.П. Верещагин и др.; Под ред. И.П. Верещагина. - М.: Изд-во МЭИ, 2000.

4. Физико-математические основы техники высоких напряжений. Учеб. пособие для вузов / В.В. Базуткин, К.П. Кадомская, Е.С. Колечицкий и др.; Под ред. К.П. Кадомской. - М.: Энергоатомиздат, 1995.

5. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. - М.: Физматлит, 2001.

6. Техника высоких напряжений. Учебник для вузов / И.Н. Богатенков, Ю.Н.Бочаров, Н.И. Гумерова и др. Под ред. Г.С. Кучинского. - СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд-ние, 2003.

7. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения: учебное пособие / И.П.Белоедова, Ю.В.Елисеев, Е.С.Колечицкий и др. - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

8. Е. Куффель, В. Цаенгль, Дж. Куффель. Техника и электрофизика высоких напряжений. Пер. с англ.: Учебно-справочное руководство - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011. - 520 с.

9. А.Г. Темников, И.П. Верещагин, С.А. Кривов, Г.З. Мирзабекян, В.В. Панюшкин. Сборник задач по высоковольтным электротехнологиям: Учебное пособие / Под ред. Темникова А.Г., - М.: Издательство МЭИ, 2004. - 64 с.

10. А.Г.Овсянников, Р.К. Борисов. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: учебное пособие. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2010.

11. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учеб. для вузов / Под ред. В.П. Ларионова. 3-е изд., перераб. и дополн. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

12. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учеб. для вузов / М.: Энергоатомиздат, 1987.

13. Авруцкий В.А., Кужекин П.П., Чернов Е.Н. Испытательные и электрофизические установки. Техника эксперимента. Учеб. пособие / Под ред. И.П. Кужекина. - М.: МЭИ, 1983.

14. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. Учебное

пособие для вузов / И.П.Верещагин, В.И.Левитов, Г.З.Мирзабекян, М.П. Пашин. - М.: Энергия, 1974.

15. А. Шваб. Измерения на высоком напряжении. Измерительные приборы и способы измерений. Изд. 2-е. Пер. с нем. И.П. Кужекина. - М.: Энергоатомиздат.

16. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Карташев В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей: - М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

17. М.В. Соколова, С.А. Кривов. Электрофизические процессы в газовой изоляции. Учебное пособие - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

#### **Дополнительная литература:**

1. Дьяков А.Ф., Максимов Б.К., Борисов Р.К. и др. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике. / под ред. Дьякова А.Ф.. - М.: Энергоатомиздат, 2003. - 768 с.

2. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. - М.: Издательство Интеллект, 2009.

3. Веревкин В.Н., Смелков Г.И., Черкасов В.Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. - М.: МИЭЭ, 2006.

4. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1989.

5. Верещагин И.П. Коронный разряд в аппаратах электронно-ионной технологии. - М.: Энергоатомиздат, 1985.

6. Колечицкий Е.С. Расчёт электрических полей устройств высокого напряжения. - М.:

## **16. Направленность – 05.14.14, Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты**

шифр, название

### **1. Развитие энергетики России и структура ее управления. Энергетические ресурсы.**

Развитие энергетики России. Структура управление энергетикой России. Основные положения Федеральных Законов РФ «Об электроэнергетике» «О теплоснабжении. Технический уровень ТЭС в России. Энергетические ресурсы России. Перспективы развития ТЭС в России.

### **2. Химические и термические методы подготовки воды на ТЭС**

Физико-химические основы процесса ионного обмена. Химическое обессоливание воды. Схемы обессоливания и области их применения. Процесс совместного Н- и ОН-ионирования в фильтре смешанного действия. Химический контроль водного режима тепловых электростанций. Физико-химические основы коррекционной обработки воды. Коррозия оборудования ТЭС и методы коррозионной защиты. Очистка сточных вод ТЭС. Схемы включения испарителей на КЭС и ТЭЦ. Многоступенчатые испарительные установки и испарители с самовскипанием воды. Водный режим испарителей и методы получения чистого вторичного пара. Испарители на сырой воде. Растворимость газов и термическая деаэрация воды. Процесс переноса вещества на границе двух фаз и теория массообмена. Классификация и конструкция пленочных, струйных, барботажных и комбинированных деаэраторов. Включение деаэраторов и тепловые схемы ТЭС и теплоснабжения. Деаэрация воды в конденсаторах турбин. Химические методы связывания растворенного в воде кислорода.

### **3. Паровые котлы ТЭС**

Типы паровых котлов, основные элементы паровых котлов. Основные тракты паровых котлов. Физико-химические свойства и теплотехнические характеристики энергетических топлив и организация их сжигания. Топочные устройства и особенности их работы, методы снижения уровня образования вредных продуктов сгорания в зоне горения. Экономичность работы паровых котлов. Методика теплового расчета парового котла. Процессы, происходящие на внешней стороне поверхностей нагрева.

Причины загрязнения пара и методы борьбы с ними. Отложения солей по тракту котельного агрегата и их удаление. Работа при переходных режимах, регулировочные характеристики пароперегревателей. Особенности конструкций маневренных и полупиковых модификаций котлов.

Паровые котлы на парогазовых ТЭС: типы, особенности конструкций и режимов работы.

#### **4. Паротурбинные установки электростанций**

Параметры паротурбинных установок, их влияние на экономичность ТЭС. Работа ступеней турбины. Переменный режим работы турбоустановок. Пуск турбин из различных состояний. Работа турбин на влажном паре, влияние влажности на характеристики турбинной ступени. Сепарация влаги в проточной части турбин. Автоматизация работы паровой турбины. Конденсационные установки паровых турбин.

#### **5. Типы ТЭС, их тепловые схемы, показатели тепловой экономичности и методы их повышения**

Типы тепловых электростанций. Технологические схемы ТЭС. Тепловые схемы ТЭС. Показатели экономичности конденсационных ТЭС. Способы повышения тепловой экономичности ТЭС. Начальные и конечные параметры пара на ТЭС. Сопряженные параметры. Промежуточный перегрев пара на ТЭС. Регенеративный подогрев конденсата и питательной воды. Оптимальное распределение регенеративного подогрева.

Методы расчета тепловых схем ТЭС и исследование их эффективности. Полные тепловые схемы электростанций, выбор основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Трубопроводы тепловых электростанций и их классификация. Прочностные расчеты трубопроводов. Гидродинамика трубопроводов. Тепловая изоляция и расчет тепловых потерь.

#### **6. Теплофикация и ее энергетическая эффективность**

Экономические основы теплофикации. Определение расхода топлива на выработку электроэнергии и тепла на паротурбинных ТЭЦ. Тепловые нагрузки на ТЭЦ. Особенности характеристик ТЭЦ. Схемы отпуска технологического пара и схемы теплоснабжения. Режимы и методы регулирования централизованного теплоснабжения при однородной и разнородной тепловой нагрузке. Коэффициент теплофикации. Совместная работа ТЭЦ и пиковых котельных.

#### **7. Газотурбинные и парогазовые ТЭС**

Типы газотурбинных и парогазовых ТЭС. Принципиальные тепловые схемы газотурбинных и парогазовых ТЭС: структура, назначение агрегатов. Схемы, конструкции, характеристики и режимы работы компрессоров. Камеры сгорания: типы, конструктивные схемы, характеристики. Эксплуатация и переменные режимы работы энергетических газотурбинных установок. Котлы-утилизаторы в тепловой схеме парогазовых ТЭС: конструктивные схемы и особенности их

работы. Тепловой и аэродинамический расчеты котлов-утилизаторов. Особенности паротурбинных установок в составе парогазовых ТЭС. Регулирование нагрузки на парогазовых ТЭС с котлами-утилизаторами. Особенности комбинированной выработки электроэнергии и тепла на газотурбинных и парогазовых ТЭС. Парогазовые технологии на пылеугольных электростанциях.

## **8. Режимы работы оборудования ТЭС**

Графики электрических нагрузок. Режимы работы ТЭС. Энергетические характеристики конденсационных и теплофикационных турбоагрегатов и котельных установок. Экономичные режимы совместной работы агрегатов и блоков ТЭС. Совместная работа ТЭС, ГЭС и АЭС в энергосистемах. Пусковые схемы блоков из различных тепловых состояний. Схемы включения и типы привода питательных насосов, их выбор. Расход топлива на пуск блоков. Перевод турбоагрегатов в моторный режим и другие методы покрытия переменной части графиков нагрузки энергосистемы. Пиковые и полупиковые электростанции и установки. Автоматизация управления работой, пусковыми и остановочными режимами оборудования ТЭС. Вопросы эксплуатации ТЭС.

## **9. Компоновка главного здания и генплан ТЭС, системы обеспечения работы**

Требования к компоновкам. Различные типы компоновок в зависимости от вида топлива и единичной мощности агрегатов. Методика технико-экономического сравнения компоновок. Выбор места сооружения и компоновка генплана ТЭС.

Техническое водоснабжение, источники и системы водоснабжения. Основы теплового расчета охладителей оборотных систем. Градирни различных типов, их сопоставление и области применения. Выбор систем водоснабжения и их технико-экономическое сопоставление.

Топливное хозяйство электростанции. Способы доставки топлива, приемно-разгрузочные и размораживающие устройства. Запасы топлива на ТЭС. Транспортные механизмы топливоподачи и дробильные установки. Пылеприготовление на ТЭС.

Системы золошлакоудаления. Схемы газоздушных трактов и оценка их эффективности. Основы разработки элементов газоздушных трактов. Предотвращение золовых отложений в газоходах. Характеристики тягодутьевых машин. Воздуходувки для котлов под наддувом. Методы регулирования производительности тягодутьевых машин.

## **10. Защита окружающей среды от вредных выбросов ТЭС**

Воздействие ТЭС на окружающую среду. Нормирование вредных выбросов в атмосферу. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосфере. Предельно допустимые и временно согласованные выбросы. ГОСТ Р 50831-95: нормативы удельных выбросов из котлов.

Снижение выбросов частиц золы в атмосферу. Снижение выбросов оксидов азота и соединений серы в атмосферу. Сокращение выбросов водяного пара и парниковых газов в атмосферу. Снижение вредного воздействия золошлаков на окружающую среду.

Основные направления сокращения водопотребления и сброса сточных вод на ТЭС. Образование шламов на ТЭС и пути их утилизации. Причины создания бессточных и малосточных систем технического водоснабжения на ТЭС. Технологические схемы ТЭС с высокими экологическими показателями.

### **Основная литература**

1. 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.: Издательский дом МЭИ, 2009.
2. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые электрические станции. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
3. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987.
4. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: - М.: Издательство МЭИ, 2003.
5. Воронов В.Н., Петрова Т.И. Воднохимические режимы ТЭС и АЭС: - М.: Издательский дом МЭИ, 2009.
6. О.И. Мартынова, Л.М. Живилова Химический контроль на тепловых и атомных электростанциях: - М.: Энергия, 1980.
7. А.А. Пантелеев, Б.Е. Рябчиков Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке: - М.: ДеЛи плюс, 2012.
8. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: - М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2005.
9. Паровые и газовые турбины для электростанций / А.Г. Костюк, В.В. Фролов. М., А.Е. Булкин, А.Д. Трухний: - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
10. Щегляев А.В. Паровые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1993.
11. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.-6-е изд., перераб.-М.: Издательство МЭИ, 2001.
12. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. – М.: Изд-во МЭИ, 2009.– 584 с.
13. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. — 428 с.

14. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
15. Тепловые и атомные электрические станции. Справочник Под общ.ред. А.В.Клименко и В.М.Зорина. М.: Издательство МЭИ, 2007.
16. 10. Росляков П.В. Методы защиты окружающей среды. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

### Дополнительная литература

3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003.
4. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ (ред. от 20.04.2014) «Об электроэнергетике».
5. Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ (ред. от 18.07.2011) «О теплоснабжении».
6. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
7. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций. Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Ремезов А.Н. и др. /Под ред. А.С. Седлова. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
8. Аракелян Э.К., Старшинов В.А. Повышение экономичности и маневренности тепловых электростанций. М.: Изд-во МЭИ, 1993.

«Согласовано»

Директор	АВТИ		С.В. Вишняков
	название института	подпись	Ф.И.О.
Директор	ИТАЭ		А.В. Дедов
	название института	подпись	Ф.И.О.
Директор	ЭнМИ		И.В. Меркурьев
	название института	подпись	Ф.И.О.
Директор	ИЭТ		С.А. Грузков
	название института	подпись	Ф.И.О.
Директор	ИЭЭ		В.Н. Тульский
	название института	подпись	Ф.И.О.

Директор	<u>ИРЭ</u> название института	<u>подпись</u>	<u>И.Н. Мирошникова</u> Ф.И.О.
----------	----------------------------------	----------------	-----------------------------------

Директор	<u>ИПЭЭф</u> название института	<u>подпись</u>	<u>С.В. Захаров</u> Ф.И.О.
----------	------------------------------------	----------------	-------------------------------