

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»



ПОЛИТЕХ

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по образовательной
деятельности

Е.М. Разинкина

«30» сентября 2019 г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
СПЕЦИАЛЬНАЯ ДИСЦИПЛИНА
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
13.06.01 – Электро- и теплотехника**

Направленности (профили):

1. *Электромеханика и электрические аппараты*
2. *Электротехнические материалы и изделия*
3. *Электротехнические комплексы и системы*
4. *Теоретическая электротехника*
5. *Электротехнология*
6. *Электрические станции и электроэнергетические системы*
7. *Промышленная теплоэнергетика*
8. *Техника высоких напряжений*
9. *Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты*
10. *Тепловые двигатели*
11. *Турбомашины и комбинированные турбоустановки*

И.о. директора Института энергетики

Руководитель основных
образовательных программ ИЭ

С.Г. Зверев

А.П. Плотников

г. Санкт-Петербург
2019

1. Электромеханика и электрические аппараты

Введение

Программа составлена на основе дисциплин направления «Электротехника, электромеханика и электротехнология», связанных с особенностями анализа, синтеза и технического использования силовых и информационных устройств для взаимного преобразования электрической и механической энергии, электрических, контактных и бесконтактных аппаратов для коммутации электрических цепей и управления потоками энергии.

Основные разделы

1. Роль электромеханики и электрических аппаратов в современной технике

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

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

Типы электрических машин. Общая классификация электрических и электронных аппаратов.

Оценка эффективности, качества и надежности электрических машин и аппаратов.

Основные элементы конструкции электромеханических преобразователей, трансформаторов, электрических аппаратов и технология их изготовления. Безотходная и малоотходная технология.

Испытания электрических машин и аппаратов. Вибрации, шумы и радиопомехи, допустимые нормы и способы их снижения. Электромагнитная совместимость электрических машин и аппаратов с системой и окружающим оборудованием.

Исторические сведения о развитии электромеханики, электрических и электронных аппаратов.

2. Методы исследования электрических машин с позиций теории цепей

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

Два подхода к описанию электромагнитных процессов в электрических машинах: с позиций теории поля и теории электрических цепей. Сравнительное сопоставление физического моделирования, аналитических и численных методов решения уравнений.

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

Уравнения установившегося режима работы асинхронных и синхронных машин. Векторные диаграммы и эквивалентные схемы замещения. Основные характеристики двигателей и генераторов.

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

Временные и пространственные гармоники в электрических машинах, параметры высших гармоник. Методы расчета гармоник магнитодвижущей силы (МДС) и магнитной индукции

в воздушном зазоре с учетом формы зубцовой зоны сердечников и нелинейных свойств магнитной цепи.

Исследование электрических машин при несинусоидальном и несимметричном напряжении. Управление электрическими двигателями от полупроводниковых преобразователей. Работа синхронного генератора на выпрямительную нагрузку. Вентильные двигатели. Особенности работы электрических машин при пульсирующем токе.

Многообмоточные электрические машины. Математические модели асинхронных двигателей с двойной беличьей клеткой и синхронных машин с демпферными обмотками. Учет влияния вихревых токов, гистерезиса и потерь в стали.

Математическое моделирование электрических машин с изменяющимися параметрами. Учет вытеснения тока в проводниках, насыщения и изменения момента инерции.

Несимметричные электрические машины. Способы математического описания и математические модели синхронных и асинхронных машин с магнитной и электрической несимметрией статора и ротора. Однофазные двигатели переменного тока.

Электрическая машина как элемент электромеханической системы. Математические модели электрических машин с учетом внешних элементов, включенных в цепи статора и ротора.

3. Электромагнитное поле в электрических машинах

Область поля электрической машины. Математическое описание электромагнитного поля электрической машины. Разделение области поля на вращающуюся и неподвижную части. Граничные и начальные условия.

Электромагнитная сила, действующая в области паза с током в магнитном поле (распределение силы между проводом и стенками паза). Зависимость силы от величины поля, полученная из энергетических соображений. Аналитические выражения электромагнитных сил и моментов.

Электродвижущая сила (ЭДС), индуцированная в проводнике, расположенном в пазу электрической машины, зависимость ее от индукции в зазоре.

Магнитное поле в гладком зазоре между статором и ротором. Магнитное поле в ярмах статора и ротора (учет кривизны, расчет магнитного напряжения, вытеснение магнитного потока в окружающее пространство).

Методы и результаты исследования магнитного поля в зубчатом воздушном зазоре. Поле в области пазов с током и без тока при односторонней и двусторонней зубчатости. Подход к вычислению удельной проводимости зазора. Коэффициент воздушного зазора.

Гармонический анализ удельной магнитной проводимости воздушного зазора, МДС и магнитной индукции в воздушном зазоре машин переменного тока.

Взаимная индукция однофазных и многофазных обмоток для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей в машинах переменного тока.

Поле рассеяния в пазах различной формы. Расчет индуктивностей пазового, лобового и дифференциального рассеяния для однослойных и двухслойных однофазных обмоток.

Магнитное поле в области торцевых частей машины. Расчетная длина машины. Поле лобовых частей. Электромагнитные силы, действующие на лобовые части. Магнитные поля и параметры синхронных машин при симметричной и несимметричной нагрузках, переходные и сверхпереходные параметры.

Методы расчета электромагнитных полей в распределенных вторичных контурах (полый и массивный ротор в асинхронных машинах, массивные полюса и массивный неявнополюсный ротор в синхронных машинах). Эквивалентные параметры роторных контуров в асинхронных и синхронных машинах.

Влияние вихревых токов в проводниках, лежащих в пазу, на их активное и индуктивное сопротивление. Меры по уменьшению добавочных потерь в обмотках (транспозиция проводников, скрутка в лобовых частях).

4. Коммутация коллекторных машин

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

5. Потери и тепловые явления в электрических машинах

Виды потерь и физические причины их возникновения в электрических машинах. Методики расчета основных и добавочных потерь в машинах переменного и постоянного тока. Коэффициент полезного действия электрических машин и трансформаторов, способы его расчетного и экспериментального определения.

Физические процессы нагревания и охлаждения электрических машин и трансформаторов. Уравнения теплообмена и тепловые параметры. Методы расчета переходных и установившихся температур. Эквивалентные тепловые схемы замещения электрических машин.

Электроизоляционные материалы и классы их нагревостойкости. Зависимость срока службы изоляции от температуры и режимов работы электрических машин.

Системы косвенного и непосредственного охлаждения электрических машин и трансформаторов. Расчет системы охлаждения. Способы интенсификации охлаждения. Тепловые испытания электрических машин.

6. Применение электронной вычислительной техники.

Оптимизация электрических машин и трансформаторов

Использование ЭВМ для исследования и проектирования электрических машин и трансформаторов. Области применения АВМ и ЦВМ. Математические модели электрических машин и трансформаторов, работающих в статических и динамических режимах.

Постановка задач оптимизации и методы их решения. Критерии оптимальности и лимитеры. Возможности машинного расчета и конструирования электрических машин и трансформаторов. Системы автоматизированного проектирования (САПР).

7. Специальные электрические машины

Электрические машины автоматических устройств: исполнительные двигатели переменного и постоянного тока; синхронные микродвигатели с постоянными магнитами, шаговые, реактивные, гистерезисные, с электромагнитной редукцией частоты вращения; двигатели с катящимся и гибким волновым ротором; универсальные коллекторные двигатели; информационные электрические микромашины.

Многомерные электрические машины, двигатели со сферическим и коническим ротором, торцевые конструкции электрических машин, униполярные машины. Электрические машины колебательного и возвратно-поступательного движения, линейные и дугостаторные двигатели, МГД-генераторы и насосы. Электрические машины со сверхпроводящими обмотками. Емкостные электрические машины.

8. Трансформаторы

Трансформаторы как электромагнитные преобразователи энергии. Физические процессы в трансформаторе. Магнитные системы и обмотки трансформаторов, группы соединения обмоток. Основные уравнения и схема замещения трансформатора. Параметры трансформаторов, методы их определения. Параллельная работа трансформаторов. Несимметричные режимы работы трансформаторов. Переходные процессы в трансформаторах. Классификация трансформаторов, их специальные типы.

9. Электрические аппараты

Принципы построения макроскопических моделей электромеханических систем электрических аппаратов. Элементы, фазовые переменные, компонентные и топологические уравнения электрической, магнитной, механической и тепловой подсистем. Составление эквивалентных схем.

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.

Магнитные материалы, применяемые в электрических аппаратах и машинах. Магнитные характеристики материалов. Методы и средства измерений магнитных полей, испытаний магнитных материалов и изделий из них.

Электродинамические силы в электрических аппаратах. Методы их 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. Стационарный нагрев контактов в токопроводе. Одномерная модель неоднородного токопровода с контактами и распределение температур в нем.

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. Одночастотный и двухчастотный контуры – модели сети.

Электромеханические аппараты автоматики. Основные виды. Характеристики.

Электрические аппараты распределения энергии низкого напряжения. Основные виды. Характеристики. Методы выбора. Методы испытаний. Тенденции развития.

Электрические аппараты управления низкого напряжения. Основные виды. Характеристики. Методы выбора. Методы испытаний. Тенденции развития.

Электрические аппараты высокого напряжения. Основные виды. Виды выключателей высокого напряжения. Особенности конструкций, методов гашения дуги и эксплуатации.

Реакторы. Конструкции. Использование. Работа реакторов в комплекте с силовыми электронными коммутаторами.

Ограничители перенапряжений и разрядники. Устройство, характеристики. Особенности эксплуатации.

Испытания электрических аппаратов высокого напряжения. Статические (силовые электронные и магнитно-полупроводниковые) 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.

Системы управления силовыми электронными аппаратами. Обобщенные структурные схемы. 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.

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

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

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

Магнитно–полупроводниковые аппараты. Дроссели насыщения и основные способы подмагничивания. Магнитно–полупроводниковые ключи.

Феррорезонансный стабилизатор напряжения и тока. Принцип действия, характеристики и области применения.

Вопросы

1. Электромеханическое преобразование энергии и физические законы, на которых оно основано.
2. Развитие энергетики и электроэнергетических систем. Выработка электроэнергии на тепловых, гидравлических и атомных станциях. Возобновляемые источники электроэнергии, автономные электроэнергетические системы, проблема охраны окружающей среды.
3. Магнитные материалы, применяемые в электрических аппаратах и машинах. Магнитные характеристики материалов. Методы и средства измерений магнитных полей, испытаний магнитных материалов и изделий из них.
4. Два подхода к описанию электромагнитных процессов в электрических машинах: с позиций теории поля и теории электрических цепей. Сравнительное сопоставление физического моделирования, аналитических и численных методов решения уравнений.
5. Применение электрических машин, трансформаторов и аппаратов в системах генерирования, передачи, распределения и потребления электрической энергии.
6. Электродинамические силы в электрических аппаратах. Методы их расчета. Использование электродинамических сил.
7. Обобщенная электрическая машина. Допущения при записи уравнений обобщенной машины. Дифференциальные уравнения в различных системах координат. Уравнения Парка–Горева синхронной машины. Физический смысл параметров обобщенной машины.
8. Типы электрических машин. Общая классификация электрических и электронных аппаратов.
9. Источники теплоты в электрических аппаратах. Методы анализа. Способы снижения потерь в электрических аппаратах. Задачи стационарной и нестационарной теплопроводности в электрических аппаратах.

10. Уравнения установившегося режима работы асинхронных и синхронных машин. Векторные диаграммы и эквивалентные схемы замещения. Основные характеристики двигателей и генераторов.
11. Оценка эффективности, качества и надежности электрических машин и аппаратов.
12. Контакты электрических аппаратов. Модели контактирования. Ом-вольтная характеристика контактов и сваривание контактов. Стационарный нагрев контактов в токопроводе.
13. Электромагнитный момент обобщенной электрической машины, уравнение движения ротора. Статические и динамические механические характеристики электродвигателей. Способы измерения момента.
14. Основные элементы конструкции электромеханических преобразователей, трансформаторов, электрических аппаратов и технология их изготовления.
15. Электрическая дуга отключения. Вольт-амперные характеристики стационарной и нестационарной дуги. Распределение потенциалов в дуге. Условия гашения электрической дуги в цепи постоянного тока.
16. Временные и пространственные гармоники в электрических машинах, параметры высших гармоник. Расчет гармоник магнитодвижущей силы и магнитной индукции в воздушном зазоре с учетом формы зубцовой зоны сердечников и нелинейных свойств магнитной цепи.
17. Испытания электрических машин и аппаратов. Вибрации, шумы и радиопомехи, допустимые нормы и способы их снижения.
18. Условия гашения дуги переменного тока. Начальная прочность межконтактного промежутка после прохождения тока через нуль.
19. Исследование электрических машин при несинусоидальном и несимметричном напряжении. Управление электрическими двигателями от полупроводниковых преобразователей. Работа синхронного генератора на выпрямительную нагрузку. Вентильные двигатели.
20. Коммутация коллекторных машин. Щеточный контакт и его вольт-амперные характеристики. Уравнения классической теории коммутации, виды коммутационных процессов.
21. Электромеханические аппараты автоматики. Основные виды. Характеристики.
22. Многообмоточные электрические машины. Математические модели асинхронных двигателей с двойной беличьей клеткой и синхронных машин с демпферными обмотками. Учет влияния вихревых токов, гистерезиса и потерь в стали.
23. Анализ факторов, влияющих на коммутацию коллекторных машин. Способы улучшения коммутации. Настройка коммутации.
24. Электрические аппараты распределения энергии низкого напряжения. Основные виды. Характеристики. Методы выбора. Методы испытаний. Тенденции развития.
25. Математическое моделирование электрических машин с изменяющимися параметрами. Учет вытеснения тока в проводниках, насыщения и изменения момента инерции.
26. Виды потерь и физические причины их возникновения в электрических машинах. Методики расчета основных и добавочных потерь в машинах переменного и постоянного тока. Коэффициент полезного действия электрических машин и трансформаторов.
27. Электрические аппараты управления низкого напряжения. Основные виды. Характеристики. Методы выбора. Методы испытаний. Тенденции развития.
28. Несимметричные электрические машины. Способы математического описания и математические модели синхронных и асинхронных машин с магнитной и электрической несимметрией статора и ротора.

29. Физические процессы нагревания и охлаждения электрических машин и трансформаторов. Уравнения теплообмена и тепловые параметры. Методы расчета переходных и установившихся температур.
30. Электрические аппараты высокого напряжения. Виды выключателей высокого напряжения. Особенности конструкций, методов гашения дуги и эксплуатации.
31. Электрическая машина как элемент электромеханической системы. Математические модели электрических машин с учетом внешних элементов, включенных в цепи статора и ротора.
32. Электроизоляционные материалы и классы их нагревостойкости. Зависимость срока службы изоляции от температуры и режимов работы электрических машин.
33. Реакторы. Конструкции. Использование. Работа реакторов в комплекте с силовыми электронными коммутаторами.
34. Область поля электрической машины. Математическое описание электромагнитного поля электрической машины. Разделение области поля на вращающуюся и неподвижную части. Граничные и начальные условия.
35. Системы косвенного и непосредственного охлаждения электрических машин и трансформаторов. Расчет системы охлаждения. Способы интенсификации охлаждения. Тепловые испытания электрических машин.
36. Ограничители перенапряжений и разрядники. Устройство, характеристики. Особенности эксплуатации.
37. Электромагнитная сила, действующая в области паза с током в магнитном поле. Зависимость силы от величины поля, полученная из энергетических соображений.
38. Оптимизация электрических машин и трансформаторов. Использование ЭВМ для исследования и проектирования электрических машин и трансформаторов. Области применения АВМ и ЦВМ.
39. Испытания электрических аппаратов высокого напряжения. Статические (силовые электронные и магнитно-полупроводниковые) аппараты. Основные виды аппаратов, их функции и классификация.
40. Электродвижущая сила, индуцированная в проводнике, расположенном в пазу электрической машины.
41. Постановка задач оптимизации и методы их решения. Критерии оптимальности и лимитеры. Возможности машинного расчета и конструирования электрических машин и трансформаторов. Системы автоматизированного проектирования (САПР).
42. Силовые электронные ключи. Особенности коммутации электронных ключей. Статические и динамические режимы работы ключей. Области безопасной работы и защита электронных ключей.
43. Магнитное поле в гладком зазоре между статором и ротором. Магнитное поле в ярмах статора и ротора.
44. Электрические машины автоматических устройств: исполнительные двигатели переменного и постоянного тока; синхронные микродвигатели с постоянными магнитами, шаговые, реактивные, гистерезисные, с электромагнитной редукцией частоты вращения.
45. Пассивные компоненты и охладители силовых электронных приборов. Влияние повышенной частоты и несинусоидальности напряжения на работу конденсаторов и реакторно-трансформаторного оборудования.
46. Методы и результаты исследования магнитного поля в зубчатом воздушном зазоре. Поле в области пазов с током и без тока при односторонней и двусторонней зубчатости. Коэффициент воздушного зазора.
47. Многомерные электрические машины, двигатели со сферическим и коническим ротором, торцевые конструкции электрических машин, униполярные машины.

48. Системы управления силовыми электронными аппаратами. Обобщенные структурные схемы. Основные функциональные узлы и элементная база.
49. Гармонический анализ удельной магнитной проводимости воздушного зазора, МДС и магнитной индукции в воздушном зазоре машин переменного тока.
50. Трансформаторы как электромагнитные преобразователи энергии. Физические процессы в трансформаторе. Магнитные системы и обмотки трансформаторов, группы соединения обмоток.
51. Микропроцессоры в управлении электрическими и электронными аппаратами. Структура и функции микропроцессора, микроконтроллера и примеры их применения в различных аппаратах.
52. Взаимная индукция однофазных и многофазных обмоток для токов прямой, обратной и нулевой последовательностей в машинах переменного тока.
53. Основные уравнения и схема замещения трансформатора. Параметры трансформаторов, методы их определения. Параллельная работа трансформаторов. Несимметричные режимы работы трансформаторов. Переходные процессы в трансформаторах.
54. Статические коммутационные аппараты постоянного и переменного токов. Функциональные возможности и области рационального применения.
55. Поле рассеяния в пазах различной формы. Расчет индуктивностей пазового, лобового и дифференциального рассеяния для однослойных и двухслойных однофазных обмоток.
56. Классификация трансформаторов, их специальные типы.
57. Статические регуляторы постоянного тока. Примеры импульсного регулирования параметров электрической энергии. Основные схемы импульсных регуляторов постоянного тока. Тиристорные регуляторы постоянного тока.
58. Магнитное поле в области торцевых частей машины. Расчетная длина машины. Поле лобовых частей. Электромагнитные силы, действующие на лобовые части.
59. Принципы построения макроскопических моделей электромеханических систем электрических аппаратов. Элементы, фазовые переменные, компонентные и топологические уравнения электрической, магнитной, механической и тепловой подсистем.
60. Статические регуляторы переменного тока. Тиристорные регуляторы переменного тока с естественной и искусственной коммутацией.
61. Методы расчета электромагнитных полей в распределенных вторичных контурах (полый и массивный ротор в асинхронных машинах, массивные полюса и массивный неявнополюсный ротор в синхронных машинах). Эквивалентные параметры роторных контуров в асинхронных и синхронных машинах.
62. Методы анализа электромагнитных полей. Законы электромагнитного поля. Дифференциальные уравнения для параметров поля.
63. Магнитно-полупроводниковые аппараты. Дроссели насыщения и основные способы подмагничивания.
64. Влияние вихревых токов в проводниках, лежащих в пазу, на их активное и индуктивное сопротивление. Меры по уменьшению добавочных потерь в обмотках.
65. 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.
66. Феррорезонансный стабилизатор напряжения и тока. Принцип действия, характеристики и области применения.

Литература.

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов// из-во «Питер», 2008
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов// из-во «Питер», 2008.
3. Отключение токов в сетях высокого напряжения. [пер. с англ.] / под ред. К. Рагаллера. — М.: Энергоиздат, 1981. — 328 с.
4. Тонконогов Е. Н. Конструкции электрических аппаратов. Элегазовые выключатели высокого напряжения: учебное пособие: / Е. Н. Тонконогов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 160 с.
5. Тонконогов Е. Н. Дугогасительные устройства выключателей высокого напряжения: учебное пособие: / Е. Н. Тонконогов. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 165 с.
6. Александров Г. Н. [и др.] Теория электрических аппаратов: учебник для ВУЗов /; под ред. Г. Н. Александрова. — 2-е изд., доп. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2000. — 540 с.
7. Таев И. С. Электрические аппараты управления. /Учебник для ВУЗов / И. С. Таев. — М.: Высшая школа, 1984. — 310 с.
8. Электрические аппараты высокого напряжения с элегазовой изоляцией / под. ред. проф. Ю. И. Вишневого. — СПб. : Энергоатомиздат, 2002. — 728 с.
9. Кукеков Г.А., Васерина К.Н., Лунин В.П.. Полкпроводниковые электрические аппараты. —Л.Энергоатомиздат, 1991. — 293 с.
10. Буль Б. К., Годжелло А. Г., Деграрь В. Г. и др.; / под ред. Таева И.С. Основы теории электрических аппаратов. — М.: Высшая школа, 1987. — 352с.

2. Электротехнические материалы и изделия»

Введение

Программа составлена с опорой на дисциплины направления «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», связанные с особенностями анализа физико-химических свойств и параметров электротехнических материалов и синтеза технических изделий как компонентов электроэнергетического, электротехнического и радиоэлектронного оборудования.

Основные разделы

1. Электроизоляционные материалы как вид электротехнических материалов

Классификация электротехнических материалов. Электроизоляционные материалы (природные и технологически синтезированные). Задачи, решаемые в электроэнергетическом, электротехническом и радиоэлектронном оборудовании использованием электроизоляционных материалов. Физические свойства электроизоляционных материалов, определяющие эффективность их использования по назначению. Электрические, магнитные, механические и температурные параметры электроизоляционных материалов, их устойчивость к внешним (атмосферным) воздействиям и времени эксплуатации. Особенности технологии производства электроизоляционных материалов и методов их утилизации.

2. Электроизоляционный материал в эксплуатационном режиме работы

Структурные и физические процессы, сопровождающие взаимодействие электроизоляционного материала с динамическими параметрами среды использования. Аналитические и численные методы анализа и оценки устойчивости параметров электроизоляционного материала к воздействиям электрических и магнитных полей, механических напряжений, изменению температурного поля. Методы стабилизации параметров электроизоляционных материалов и оптимизации их рабочих режимов в изделиях.

3. Технология производства электроизоляционных материалов, полуфабрикатов и изделий

Характеристика физико-химических процессов, сопровождающих процесс изготовления электроизоляционных материалов, полуфабрикатов и изделий. Методики и математические модели управления параметрами электроизоляционных материалов в технологическом процессе их производства. Основные технологические процессы, используемые в производстве электроизоляционных материалов, полуфабрикатов, изделий изоляционной, кабельной и конденсаторной техники.

4. Контроль свойств электроизоляционных материалов и изделий

Контролируемые параметры электроизоляционных материалов и изделий, оптимальные для создания баз данных и прогнозирования рынка сбыта. Методы контроля параметров электроизоляционных материалов, особенности методов контроля изделий изоляционной, кабельной и конденсаторной техники. Виды контрольных (в том числе типовых) испытаний на соответствие параметров готовой продукции стандартам и техническим условиям. Методы регистрации параметров электроизоляционных материалов на стадии инженерных разработок материалов, тенденции в развитии методов регистрации и измерительных комплексов. Автоматизация процессов контроля и информационно-измерительные системы в электроизоляционной, кабельной и конденсаторной технике.

5. Надежность и долговечность электроизоляционных, кабельных и конденсаторных изделий

Методы исследования надежности и долговечности изоляционных материалов, кабельных и конденсаторных изделий. Типовые испытания на надежность и долговечность изделий, особенности переноса результатов типовых испытаний на прогноз работоспособности изделий в эксплуатации и гарантийные обязательства. Анализ физических процессов, приводящих к ослаблению или полной утрате эксплуатационных параметров (отказу) изоляционных материалов, кабельных и конденсаторных изделий. Математические модели отказов. Количественные характеристики надежности. Особенности изучения количественных характеристик надежности по статистическим сведениям, полученным из эксплуатации изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий. Предпочтительная область использования сведений о надежности, полученных по результатам эксплуатации изделий.

6. Функциональные свойства и области применения изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий

Изоляционные, кабельные и конденсаторные изделия как составные части электроэнергетического, электротехнического и радиотехнического оборудования, их классификация по составу конструктивных элементов, материалам, назначению, области применения. Основные параметры, определяющие функциональную эффективность использования различных типов изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий, предельные и функционально оптимальные значения параметров. Технические, экономические, экологические и другие критерии оптимальности, используемые для оценки качества изоляционных, кабельных и конденсаторных изделий. Научные и технические направления совершенствования свойств материалов, полуфабрикатов и изделий в электроизоляционной, кабельной и конденсаторной технике.

Вопросы

1. Основные представления об электропроводности проводников, полупроводников и диэлектриков.
2. Поляризация диэлектриков и диэлектрические потери.
3. Статистическая обработка экспериментальных данных. Функция плотности вероятности. Функция распределения. Математическое ожидание.
4. Кратковременная и длительная электрическая прочность. Методы экспериментального определения.
5. Основные сведения об активных диэлектриках.
6. Тепловой пробой кабельных и конденсаторных конструкций.
7. Частичные разряды в изоляции электрических машин. Виды разрядов. Методы их устранения.
8. Основные виды изоляции электрических машин. Тенденции развития.
9. Основные виды изоляции силовых кабелей. Особенности эксплуатации, испытаний.
10. Наномодификация диэлектрических материалов. Особенности, тенденции.
11. Классификация электротехнических материалов. Электроизоляционные материалы (природные и технологически синтезированные).
12. Основные типы электрических конденсаторов. Тенденции развития.
13. Применение диэлектриков в электроэнергетическом, электротехническом и радиоэлектронном оборудовании (электроизоляционная, конденсаторная и кабельная техника).
14. Механизмы и теоретические пределы электрической проводимости и электрической прочности диэлектриков.

15. Основные причины и виды отказов электроизоляционных конструкций.
16. Современные полимерные пленочные диэлектрики.
17. Пробой газообразных и жидких диэлектриков.
18. Частичные разряды в высоковольтных изоляционных конструкциях.
19. Использование сверхпроводников в электроэнергетике. Текущее состояние. Перспективы.
20. Основные представления об электропроводности проводников, полупроводников и диэлектриков.

Литература

- Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы: Учеб. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
- Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения: Учеб. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии: Учеб. М.: Энергоатомиздат, 1996.
- Ренне В.Т. Электрические конденсаторы. Л.: Энергия, 1969.
- Кучинский Г.С., Назаров Н.И. Силовые электрические конденсаторы. М.: Энергоатомиздат, 1992.
- Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях. Л.: Энергия, 1979.
- Электрические свойства полимеров /Под ред. Б.И. Сажина. Л.: Химия, 1986.
- Борисова М.Э., Койков С.Н. Физика диэлектриков. Л.: Изд-во ЛГУ, 1979.
- Ренне В.Т. Пленочные конденсаторы с органическим синтетическим диэлектриком. Л.: Энергия, 1971.
- Койков С.Н., Цикин А.Н. Электрическое старение твердых диэлектриков и надежность диэлектрических деталей. Л.: Энергия, 1968.
- Ваксер Н. М. Изоляция электрических машин. Учебное пособие. — Л., изд. ЛПИ, 1985.
- Хаушильд В., Мош В. Статистика для электротехников в приложении к технике высоких напряжений. Пер. с нем., -Л.: Энергоатомиздат, 1989.

3. Электротехнические комплексы и системы

Введение

Программа составлена с опорой на следующие дисциплины направления «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», связанные с особенностями анализа общих закономерностей преобразования, накопления, передачи и использования электрической энергии и электротехнической информации, принципами и средствами управления действующих или создаваемых электротехнических комплексов и систем промышленного, транспортного, бытового и специального назначения.

Основные разделы

1. Теория электропривода

Функции, выполняемые общепромышленным и тяговым приводом, и его обобщенные функциональные схемы. Характеристики электромеханического преобразователя энергии и его математическое описание в двигательном и тормозном режимах. Обобщенная электрическая машина как основной компонент электропривода. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых двигателей. Механические устройства. Нагрузка двигателя. Сопряжение двигателя с рабочим механизмом (редукторы, муфты).

Математические модели и структурные схемы электромеханических систем с электродвигателями разных типов.

Установившиеся режимы работы электропривода. Частотный и спектральный анализ. Учет упругих звеньев и связей. Учет нелинейностей. Построение адекватных моделей с использованием компьютерных технологий.

Переходные процессы в электроприводах. Линейные и нелинейные системы, передаточные и переходные функции электропривода. Примеры формирования оптимальных переходных процессов при разгоне и торможении электропривода с учетом процессов в рабочем механизме.

Обобщенный алгоритм компьютерного моделирования линейных или нелинейных систем автоматизированного электропривода; представление и обработка результатов моделирования.

Регулирование координат электропривода. Характеристика систем электроприводов: управляемый преобразователь-двигатель постоянного тока, преобразователь частоты – асинхронный двигатель, преобразователь частоты – синхронный двигатель, системы с шаговыми двигателями, системы с линейными двигателями и сферы их применения. Основные характеристики приборных систем электроприводов.

Следящие электроприводы. Многодвигательные электромеханические системы. Тяговые электроприводы.

Выбор типа и мощности электродвигателя, обоснование структуры, типа и мощности преобразователя. Основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.

2. Автоматическое управление электроприводом

Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом. Типовые, функциональные схемы и типовые системы, осуществляющие автоматический пуск, стабилизацию скорости, реверс и остановку электродвигателей. Синтез систем с контактными и бесконтактными элементами. Принципы выбора элементной базы.

Общие вопросы теории замкнутых систем автоматического управления электроприводом (САУ) при заданном рабочем механизме.

Методы анализа и синтеза замкнутых, линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных САУ. Применение методов вариационного исчисления и пакетов прикладных программ для ПЭВМ.

Системы управления электроприводами постоянного и переменного тока. Типовые структуры систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления электроприводов с тиристорными преобразователями. Системы с машинами двойного питания. Структура управления специальным приводами (тяговые, крановые, муфтовые и т.п.). Управление электроприводами с линейными двигателями.

Управление электроприводами при наличии редуктора и упругой связи двигателя с механизмом. Стабилизирующие системы управления электроприводами. Защита от перегрузок и аварийных режимов.

Типовые узлы и типовые САУ, поддерживающие постоянство заданных переменных. Типовые узлы и типовые следящие САУ непрерывного и дискретного действия. Оптимальные и инвариантные САУ. Анализ и синтез следящих САУ с учетом стохастических воздействий. Цифровые САУ. Электроприводы в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах. Применение микропроцессоров и микроЭВМ для индивидуального и группового управления электроприводами технологических объектов и транспортных средств.

Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.

Надежность и техническая диагностика электроприводов.

3. Теория и принципы работы комплексных узлов электрооборудования

Научные основы и принципы работы наиболее распространенных комплектных узлов электрооборудования (по отраслям). Преобразователи напряжения, в том числе: генераторы и электромашинные преобразователи, управляемые вентильные преобразователи постоянного и переменного тока в постоянный, инверторы, непосредственные преобразователи частоты переменного тока и др.

Основные принципы построения систем и комплектных узлов общепромышленного электрооборудования и электрооборудования подвижных объектов. Контакторно-резисторные и электронные узлы систем управления электрическим подвижным составом и их особенности.

Контактные и бесконтактные узлы электродвигателями постоянного и переменного тока, работающие в непрерывных, релейных и импульсных режимах. Особенности проектирования. Элементная база силовых цепей электрооборудования (контакты, резисторы, силовые полупроводниковые приборы).

4. Электрооборудование для электроснабжения промышленных предприятий, транспорта и сельского хозяйства

Классификация источников, приемников и преобразователей электрической энергии. Электрические нагрузки и закономерности изменения их во времени (по отраслям). Использование теории случайных процессов для представления основных параметров нагрузки. Основы теории прогнозирования и динамики потребления электрической энергии. Тяговые подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта.

Принципы расчета электрических сетей и систем электрооборудования.

Выбор систем и схем электроснабжения. Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Характерные схемы электроснабжения. Выбор напряжения в системах электроснабжения (по отраслям). Сокращение числа трансформации и выбор числа трансформации. Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений. Защита от блуждающих токов.

Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты. Принципы автоматического повторного включения.

Качество электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов (по отраслям). Электромагнитная совместимость приемников электрической энергии с питающей сетью.

Средства улучшения показателей качества электроэнергии. Компенсация реактивной мощности в электроприводах и системах электроснабжения.

Технико-экономические расчеты в системах электроснабжения (по отраслям) и использование для этих целей современных компьютерных технологий. Теория интерполяции и аппроксимации; методы приближения функций в расчетах по электротехническим комплексам и системам.

Теория надежности и техническая диагностика в электроснабжении и преобразовании электрической энергии (по отраслям). Теория малых выборок, и ее использование в практике расчетов.

Компенсация реактивной мощности. Основные направления развития компенсирующих устройств.

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

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

Электрический баланс в системах электроснабжения городов, объектов сельского хозяйства, промышленных предприятий и подвижных объектов. Методика расчета потерь мощности в системах электроснабжения. Нормирование энергопотребления.

Вопросы

1. Функции, выполняемые общепромышленным и тяговым приводом, и его обобщенные функциональные схемы.
2. Основные функции и структуры автоматического управления электроприводом. Типовые, функциональные схемы и типовые системы, осуществляющие автоматический пуск, стабилизацию скорости, реверс и остановку электродвигателей.
3. Научные основы и принципы работы наиболее распространенных комплектных узлов электрооборудования (по отраслям).
4. Характеристики электромеханического преобразователя энергии и его математическое описание в двигательном и тормозном режимах.
5. Общие вопросы теории замкнутых систем автоматического управления электроприводом (САУ) при заданном рабочем механизме.
6. Основные принципы построения систем и комплектных узлов общепромышленного электрооборудования и электрооборудования подвижных объектов.
7. Обобщенная электрическая машина как основной компонент электропривода.
8. Методы анализа и синтеза замкнутых, линейных и нелинейных, непрерывных и дискретных САУ.
9. Преобразователи напряжения, в том числе: генераторы и электромашинные преобразователи, управляемые вентильные преобразователи постоянного и переменного тока в постоянный, инверторы, непосредственные преобразователи частоты переменного тока и др.
10. Электромеханические свойства двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых двигателей. Механические устройства. Нагрузка двигателя. Сопряжение двигателя с рабочим механизмом (редукторы, муфты).

11. Типовые структуры систем управления асинхронными и синхронными двигателями. Особенности построения систем управления асинхронными и синхронными двигателями.
12. Контакторно-резисторные и электронные узлы систем управления электрическим подвижным составом и их особенности.
13. Математические модели и структурные схемы электромеханических систем с электродвигателями разных типов.
14. Системы с машинами двойного питания. Структура управления специальным приводами (тяговые, крановые, муфтовые и т.п.). Управление электроприводами с линейными двигателями.
15. Контактные и бесконтактные узлы электродвигателями постоянного и переменного тока, работающие в непрерывных, релейных и импульсных режимах.
16. Установившиеся режимы работы электропривода. Частотный и спектральный анализ. Учет упругих звеньев и связей. Учет нелинейностей. Построение адекватных моделей с использованием компьютерных технологий.
17. Особенности построения систем управления электроприводов с тиристорными преобразователями.
18. Классификация источников, приемников и преобразователей электрической энергии. Электрические нагрузки и закономерности изменения их во времени (по отраслям).
19. Переходные процессы в электроприводах. Линейные и нелинейные системы, передаточные и переходные функции электропривода.
20. Управление электроприводами при наличии редуктора и упругой связи двигателя с механизмом. Стабилизирующие системы управления электроприводами. Защита от перегрузок и аварийных режимов.
21. Использование теории случайных процессов для представления основных параметров нагрузки.
22. Примеры формирования оптимальных переходных процессов при разгоне и торможении электропривода с учетом процессов в рабочем механизме.
23. Типовые узлы и типовые САУ, поддерживающие постоянство заданных переменных. Типовые узлы и типовые следящие САУ непрерывного и дискретного действия.
24. Основы теории прогнозирования и динамики потребления электрической энергии.
25. Обобщенный алгоритм компьютерного моделирования линейных или нелинейных систем автоматизированного электропривода; представление и обработка результатов моделирования.
26. Оптимальные и инвариантные САУ. Анализ и синтез следящих САУ с учетом стохастических воздействий. Цифровые САУ.
27. Тяговые подстанции и их принципиальные особенности; типы тяговых подстанций электротранспорта.
28. Регулирование координат электропривода.
29. Электроприводы в робототехнических комплексах и гибких автоматизированных производствах. Применение микропроцессоров и микроЭВМ для индивидуального и группового управления электроприводами технологических объектов и транспортных средств.
30. Принципы расчета электрических сетей и систем электрооборудования.
31. Характеристика систем электроприводов: управляемый преобразователь-двигатель постоянного тока, преобразователь частоты – асинхронный двигатель, преобразователь частоты – синхронный двигатель, системы с шаговыми двигателями, системы с линейными двигателями и сферы их применения. Основные характеристики приборных систем электроприводов.
32. Надежность и техническая диагностика электроприводов.

33. Блуждающие токи и коррозия подземных сооружений. Защита от блуждающих токов.
34. Следящие электроприводы. Многодвигательные электромеханические системы. Тяговые электроприводы.
35. Адаптивные системы автоматического управления и принципы их управления. Алгоритмы адаптации в электроприводах.
36. Выбор систем и схем электроснабжения. Современные методы оптимизации систем электроснабжения, критерии оптимизации. Характерные схемы электроснабжения. Выбор напряжения в системах электроснабжения (по отраслям). Сокращение числа трансформации и выбор числа трансформации.
37. Выбор типа и мощности электродвигателя, обоснование структуры, типа и мощности преобразователя. Основные этапы эскизного и рабочего проектирования электропривода.
38. Качество электрической энергии. Влияние качества электроэнергии на потребление электроэнергии и на производительность механизмов и агрегатов (по отраслям).
39. Определение токов короткого замыкания и выбор электрических аппаратов защиты.
40. Теория надежности и техническая диагностика в электроснабжении и преобразовании электрической энергии (по отраслям). Теория малых выборок, и ее использование в практике расчетов.
41. Компенсация реактивной мощности. Основные направления развития компенсирующих устройств.
42. Принципы автоматического повторного включения.

Основная литература

1. Проектирование и электроснабжение промышленных предприятий и гражданских систем. Электрооборудование и электроснабжение промышленных предприятий : учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Техническая физика" / [В. В. Маркелов [и др.]] ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; [под ред. В. Я. Фролова] .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2012 .— 383 с. : ил.

Дополнительная литература

1. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации : учебное пособие для вузов по специальности "Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов" направления подготовки "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / [М. П. Белов [и др.]] ; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова .— Москва : Академия, 2006 .— 366, [1] с.

2. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. для вузов по курсу "Электроснабжение пром. предприятий" / Б. И. Кудрин .— М. : Интермет Инжиниринг, 2005 .— 670 с.

4. Теоретическая электротехника

Введение

Составлено с опорой на систему дисциплин направления «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», связанных с системным анализом электромагнитных процессов и созданием математических моделей для количественной оценки параметров электромагнитных явлений в различных средах.

Основные разделы

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. Численные методы решения уравнений цепей при установившихся процессах. Точные и итерационные методы. Метод Гаусса, разложение матриц на треугольные сомножители. Условие сходимости итерационных методов.

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

Многополюсники, матрицы и основные уравнения четырехполюсников. Характеристическое сопротивление и коэффициент передачи. Схемы замещения взаимных и невзаимных четырехполюсников. Соединения четырехполюсников. Особенности формирования уравнений цепей, содержащих многополюсные компоненты. 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. Резонансные явления. Частотные характеристики цепей и методы их расчета. Элементы теории фильтров. Полоса пропускания и избирательность фильтра.

Переходные процессы в линейных цепях. Анализ переходных процессов во временной и частотной областях. Использование интегралов Дюамеля, Лапласа, Фурье при расчете переходных процессов, передаточные функции цепи. Классический метод расчета. Метод переменных состояний. Расчет процессов при наличии в цепи емкостных контуров и индуктивных сечений. Проблемы и методы численного решения уравнений состояния. Понятие о жесткости уравнений состояния. Сведение задач расчета переходных процессов к расчету резистивных цепей – метод дискретных схем замещения. Машинное формирование уравнений дискретных схем на основе метода поэлементного вклада. Аналитическое решение уравнений состояния. Определение составляющих решения уравнений состояния электрических цепей – свободной, принужденной, установившейся и переходящей. Численная обработка матричных функций аналитических решений уравнений состояния.

Цифровые электрические и электронные цепи, z -преобразование, уравнения состояния в z -области, передаточные функции цифровых систем в z -области.

Синтез линейных электрических цепей. Проблемы аппроксимации и схемной реализации. Необходимые и достаточные условия схемной реализации. Фундаментальные свойства схемных функций цепей. Синтез передаточных функций четырехполюсников.

Диагностика линейных электрических цепей. Диагностика резистивных многополюсников методом узловых сопротивлений. Диагностика резистивных цепей по частям. Погрешности измерений при решении задач диагностики.

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

3. 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. Метод переменных состояний. Численные методы решения нелинейных уравнений состояния. Методы неявного интегрирования. Дискретные модели нелинейных реактивных элементов и их применение к расчету динамических режимов.

Автоколебания. Почти гармонические колебания. Релаксационные колебания. Устойчивость. Простейшие энергетические состояния. Машинный расчет периодических и автоколебательных режимов.

4. 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. Метод разделения переменных. Метод интегральных уравнений. Численные методы решения краевых задач: метод сеток, метод конечных элементов. Энергия и силы в электростатическом поле.

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. Метод участков. Особенности применения метода интегральных уравнений. Энергия и силы в магнитном поле.

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. Численные методы (конечных разностей и конечных элементов) расчета переменных полей в проводящих средах. Электромагнитное поле в реальных проводниках, диэлектриках, ферромагнетиках и анизотропных средах.

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.

Вопросы

1. Выражения законов Ома и Кирхгофа в комплексной форме
2. Расчет мощности по комплексным напряжению и току
3. Преобразование источников ЭДС и тока
4. Метод контурных токов
5. Метод узловых напряжений
6. Баланс мощностей в сложной цепи
7. Понятие о резонансе и о частотных характеристиках в электрических цепях
8. Резонанс и частотные характеристики цепи с последовательным соединением участков r , L , C
9. Резонанс и частотные характеристики цепи с параллельным соединением участков g , L , C
10. Многофазные цепи и системы и их классификация
11. Расчет трехфазной цепи в общем случае несимметрии ЭДС и несимметрии цепи
12. Действующие периодические несинусоидальные токи, напряжения и ЭДС
13. Активная мощность при периодических несинусоидальных токах и напряжениях
14. Переходные процессы в цепи с последовательно соединенными участками r и L
15. Переходные процессы в цепи с последовательно соединенными участками r и C
16. Переходные процессы в цепи с последовательно соединенными участками r , L и C
17. Переходные процессы при мгновенном изменении параметров участков цепи
18. Законы Кирхгофа и Ома в операторной форме
19. Расчет переходных процессов в электрических цепях операторным методом
20. Различные виды уравнений четырехполюсника. Эквивалентные схемы четырехполюсника
21. Экспериментальное определение параметров четырехполюсника
22. Уравнения линии с распределенными параметрами
23. Решение уравнений однородной линии при установившемся синусоидальном режиме
24. Однородная линия при различных режимах работы. Линии без потерь
25. Решение уравнений однородной неискажающей линии при переходном процессе классическим методом
26. Волны в неискажающей линии. Преломление и отражение волн в месте сопряжения двух однородных линий
27. Отражение волн от конца линии
28. Особые свойства нелинейных электрических цепей
29. Элементы электрической цепи с нелинейными сопротивлениями, их параметры и характеристики
30. Расчет сложной электрической цепи с одним нелинейным элементом

31. Законы и параметры магнитных цепей. Расчет магнитной цепи с последовательным соединением участков
32. Расчет разветвленных магнитных цепей
33. Устойчивость режима в цепи с индуктивностью и нелинейным сопротивлением, питаемой от источника постоянного напряжения
34. Устойчивость режима в цепи с емкостью и нелинейным сопротивлением, питаемой от источника постоянного напряжения
35. Электромагнитное поле и его уравнения в интегральной форме
36. Закон полного тока в дифференциальной форме - первое уравнение Максвелла
37. Закон электромагнитной индукции в дифференциальной форме - второе уравнение Максвелла
38. Теорема Гаусса и постулат Максвелла в дифференциальной форме
39. Выражение в дифференциальной форме принципов непрерывности магнитного потока и непрерывности электрического тока
40. Полная система уравнений электромагнитного поля
41. Граничные условия на поверхности раздела двух сред с различными электрическими и магнитными свойствами

Литература

1. К.С.Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В.Коровкин, В.Л.Чечурин, Теоретические основы электротехники, т.1, т.2, т.3, СПб, Питер, 462 с., 575с., 376с. 2003.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2002.

5. Электротехнология

Введение

Настоящая программа составлена на основе дисциплин направления «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», 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.

Основные разделы

1. 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.

2. Физические принципы и техническая реализация современных электротехнологических установок

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

Электрические печи сопротивления. Основные виды и конструкции электрических цепей сопротивления. Печи с нагревательными элементами, прямого действия, электродно-соляная ванна, печь электрошлакового переплава. Тепловой расчет печей периодического действия. Тепловой расчет печей методического действия. Расчет нагревателей 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. Методы измерения и регулирования температур 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. Вольт-амперная 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 холодной плазмы в электротехнологических установках.

Дуговые (в том числе рудно-термические и плазменно-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 эффективности тепловых процессов в дуговых печах.

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

Дуговые вакуумные печи. Особенности технологических процессов плавки в вакуумных печах. Гарнисажные дуговые вакуумные печи.

Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская волна, скин-эффект. Процесс взаимодействия электромагнитного поля с металлом. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью. Принцип индукционного нагрева. Методы расчета систем «индуктор – металл». Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы «индуктор – металл». Электродинамические процессы в ферромагнитных телах. Источники питания индукционных установок. Механические усилия в электродинамических системах. Взаимодействия электромагнитного поля с плазмой и расплавленным металлом.

Канальные и тигельные печи индукционного нагрева. Физические основы индукционного нагрева. Индукционные плавильные тигельные печи. Расчет основных параметров тигельной печи. Магнитогидродинамические процессы в ванне печи. Энергетический баланс установки. Источники питания и электрооборудование тигельных печей. Особенности расчета индукционных печей. Энергетический баланс канальной печи. Электродинамические явления в каналах печей. Установки индукционного нагрева на средних и высоких частотах. 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 нагрев диэлектриков и полупроводников. Установки зонной плавки.

Электронно-лучевая высоковакуумная печь для переплава особо чистой стали и тугоплавких материалов. Мощные электронные пушки. Характеристики оптической системы электронных пушек. Электронные установки зонной очистки металлов и выращивание монокристаллов. Электронные испарительные установки. Тепловой расчет и энергетические характеристики электронно-лучевых установок.

3. Процессы и установки для сварки и улучшения свойств материалов

Электродуговая сварка. Особенности формирования сварочных дуг. Источники питания сварочных дуг. Плазменно-дуговая сварка и резка металлов. Физические основы плазменной сварки и резки металлов. Контактная сварка. Физические основы электрической контактной сварки. Стыковая сварка. Точечная сварка. Шовная сварка. Электрооборудование установок контактной сварки.

Плазменная техника и технология. Основные типы и классификация плазмотронов атмосферного давления. Основные виды плазменных технологий (резка, плавка, сварка, напыление, плазмохимия, нанопорошки). Плазменно-ионные технологии и устройства (травление, очистка, нанесение покрытий, полировка). Приэлектродные явления и теплообмен в электродных пятнах, условия устойчивости горения электрических дуг.

Математическое моделирование и расчет плазмы, плазмотронов и плазменных технологий (уравнение энергии и движения, электромагнитные задачи).

Электроэрозионные и анодно-механические методы обработки металлов. Электроэрозионная обработка металлов. Параметры импульсных разрядов. Основные операции, выполняемые электроэрозионным методом. Импульсные генераторы для электроэрозионной обработки. Анодно-механическая обработка металлов. Основы анодно-механической обработки. Разновидности анодно-механической обработки.

Электрогидравлические и магнитно-импульсные методы обработки. Установки для электрогидравлической обработки. Физические процессы, происходящие при высоковольтном электрическом разряде в жидкости. Генераторы импульсов тока. Технологическое использование электрического разряда в жидкости. Магнитно-импульсная обработка металлов. Физические основы магнитно-импульсной обработки металлов. Элементы оборудования установок магнитно-импульсной обработки. Характеристики операции магнитно-импульсной обработки.

Промышленные лазеры. Физические основы лазерной техники. Принцип действия и характеристики газовых лазеров, лазерные технологии.

Ультразвуковые установки и методы сварки, очистки и интенсификации технологических процессов.

4. Электротехнологические процессы в экологии

Перспективы использования электротехнологических процессов для улучшения 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. Плазмохимические методы нейтрализации и разложения токсичных газов. Методы деструкции радиоактивных отходов.

5. Источники электропитания электротехнологических установок

Источники питания электротехнологических установок с первичной энергией в виде электросети промышленной частоты. Источники питания для 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 вольт-амперных характеристик источников. Условия совместимости источников питания с первичной сетью.

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

Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.

6. 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 рудовосстановительных печей.

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

Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы электрошлаковой печи и выбор параметров регулирования.

Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.

7. 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. Нелинейный характер уравнений и итерационный метод их решения. Элементы вычислительной математики: метод конечных элементов, конечных разностей, контрольного объема.

Аппроксимирующие функции. Конструирование дискретного аналога уравнений. Обеспечение устойчивости и сходимости решения. Метод прямой и обратной прогонки.

Специфика языков программирования. Системы автоматического проектирования в электротермии.

Вопросы

1. Современные проблемы использования электрической энергии для технологических процессов.
2. Эффект теплообразования при прохождении электрического тока по проводнику. Сопротивление проводника. Особенности тепловыделения в сопротивлении.
3. Электродуговая сварка. Особенности формирования сварочных дуг.
4. Основные виды продукции с предпочтительным производством на электротехнологических установках
5. Основные законы теплопередачи от элемента сопротивления к объекту нагрева. Влияние геометрии рабочего пространства и третьих тел на теплопередачу.
6. Плазменно-дуговая сварка и резка металлов. Физические основы плазменной сварки и резки металлов.
7. Классификация электротехнологических установок.
8. Основные методы расчета стационарных и нестационарных тепловых полей. Решение тепловых задач с внутренними источниками тепла.
9. Контактная сварка. Физические основы электрической контактной сварки.
10. Электротехнологические установки с тепловым процессом формирования требуемого качества продукции
11. Электрические печи сопротивления. Основные виды и конструкции электрических цепей сопротивления.

12. Плазменная техника и технология. Основные типы и классификация плазмотронов атмосферного давления. Основные виды плазменных технологий (резка, плавка, сварка, напыление, плазмохимия, нанопорошки).
13. Основные методы преобразования электрической энергии в тепловую, их эффективность и распространенность в современных технологических процессах.
14. Электрические печи сопротивления. Тепловой расчет печей периодического действия. Тепловой расчет печей методического действия. Расчет нагревателей среднетемпературных и высокотемпературных печей.
15. Плазменно-ионные технологии и устройства (травление, очистка, нанесение покрытий, полировка).
16. Основные законы подобия и моделирования процессов в электротермических установках.
17. Особенности конструкции нагревателей с теплоотдачей преимущественно излучением. Особенности теплового расчета электрических печей с принудительной циркуляцией атмосферы.
18. Электроэрозионная обработка металлов. Параметры импульсных разрядов. Основные операции, выполняемые электроэрозионным методом.
19. Использование физического, математического и численного моделирования для решения задач электрического нагрева и его оптимизации.
20. Расчет электрических нагревателей с преимущественно конвективной теплоотдачей.
21. Анодно-механическая обработка металлов. Основы анодно-механической обработки. Разновидности анодно-механической обработки.
22. Перспективные направления в использовании электроэнергии для технологических процессов.
23. Методы измерения и регулирования температур в электрических печах.
24. Установки для электрогидравлической обработки. Физические процессы, происходящие при высоковольтном электрическом разряде в жидкости. Генераторы импульсов тока. Технологическое использование электрического разряда в жидкости.
25. Географические, экономические и экологические аспекты использования электротехнологий.
26. Электрический дуговой разряд как источник тепла. Параметры электрической дуги высокого и низкого давления.
27. Магнитно-импульсная обработка металлов. Физические основы магнитно-импульсной обработки металлов. Элементы оборудования установок магнитно-импульсной обработки. Характеристики операции магнитно-импульсной обработки.
28. Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы электрошлаковой печи и выбор параметров регулирования.
29. Приэлектродные процессы в электрических дугах.
30. Промышленные лазеры. Физические основы лазерной техники. Принцип действия и характеристики газовых лазеров, лазерные технологии.
31. Автоматическое управление плазменными, электронно-лучевыми и лазерными установками.
32. Методы расчета электрических цепей с дуговыми разрядами в контуре цепи.
33. Ультразвуковые установки и методы сварки, очистки и интенсификации технологических процессов.
34. Структура и физический смысл основных уравнений, описывающих электротехнологические и электрофизические процессы (уравнения стационарной и нестационарной теплопроводности, баланса энергии, движения и неразрывности).
35. Вольт-амперная характеристика электрической дуги постоянного и переменного тока.

36. Перспективы использования электротехнологических процессов для улучшения окружающей среды.
37. Уравнения электромагнитного поля (Максвелла, цепные задачи).
38. Устойчивость системы с дуговым разрядом. Устойчивость дугового разряда при наличии возмущений. Влияние материала электродов и среды на устойчивость дугового разряда.
39. Основные электрофизические и электротехнологические методы очистки окружающей среды.
40. Плоские и цилиндрические задачи математического моделирования электротехнологических процессов, граничные и начальные условия. Нелинейный характер уравнений и итерационный метод их решения.
41. Плазма и ее разновидности. Особенности использования холодной плазмы в электротехнологических установках.
42. Источники питания электротехнологических установок с первичной энергией в виде электросети промышленной частоты.
43. Установки сквозного нагрева. Выбор основных параметров установок сквозного нагрева.
44. Дуговые печи прямого и косвенного действия. Особенности теплообразования и теплопередачи в дуговых печах. Технологические процессы выплавки стали в дуговых печах.
45. Ламповые генераторы. Основные схемы генерации и регулирования мощности. Генераторные триоды, параметры ламповых генераторов.
46. Автоматическое управление вакуумными дуговыми печами. Требования к автоматической системе ведения плавки. Автоматические регуляторы длины дуги и мощности нагревателя печи.
47. Расчет электрических процессов в дуговой печи. Тепловой расчет и энергетический баланс процессов.
48. Источники питания постоянного тока для электротехнологических установок. Основные схемы выпрямления, регулирования тока и напряжения.
49. Автоматическое управление электрошлаковыми печами. Режимы работы электрошлаковой печи и выбор параметров регулирования.
50. Дуговая печь как нагрузка электрической сети.
51. Источники питания для установок индукционного нагрева. Особенности построения схем инвертирования тока и выбор элементной базы для полупроводниковых источников питания печей индукционного нагрева.
52. Индукционная поверхностная закалка. Выбор основных параметров установок индукционной закалки.
53. Особенности тепловых процессов в рудовосстановительных печах. Область применения, классификация и типы рудовосстановительных печей.
54. Источники питания для дуговых и рудно-термических печей, выбор печных трансформаторов, методы регулирования мощности в печах. Системы управления режимом работы источника питания.
55. Автоматическое управление режимами дуговых сталеплавильных печей. Сталеплавильная печь как объект регулирования. Задачи управления.
56. Дуговые вакуумные печи. Особенности технологических процессов плавки в вакуумных печах.
57. Магнетронные источники питания сверхвысокой частоты для целей нагрева.
58. Индукционные плавильные тигельные печи. Расчет основных параметров тигельной печи. Магнитогидродинамические процессы в ванне печи. Энергетический баланс установки.
59. Перенос и преобразование энергии в электромагнитном поле. Плоская волна, скин-эффект.

60. Импульсные и непрерывные методы регулирования режимов электротехнологических установок. Понятие о самонастраивающихся системах управления.
61. Источники питания и электрооборудование тигельных печей. Особенности расчета индукционных печей. Энергетический баланс канальной печи. Электродинамические явления в каналах печей.
62. Процесс взаимодействия электромагнитного поля с металлом. Электромагнитные явления в металлах с постоянной магнитной проницаемостью.
63. Автоматическое управление электропечами сопротивления. Позиционные регуляторы температуры.
64. Взаимодействие электромагнитного поля с плазмой и расплавленным металлом.
65. Принцип индукционного нагрева. Методы расчета систем «индуктор – металл». Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности системы «индуктор – металл».
66. Динамика систем непрерывного регулирования температуры. Расчет и настройка регуляторов температуры. Современные типовые регуляторы температуры.

Литература

1. Электротехнологические промышленные установки : учебное пособие / [В. Я. Фролов [и др.] ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет; под ред. В. Я. Фролова .— Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2010 .— 571 с. : ил.
2. Техника и технологии нанесения покрытий : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Техн. физика" / В. Я. Фролов [и др.] ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008 .— 386 с.
3. Лисенков, А. А. Вакуумно-дуговые устройства : учебное пособие для вузов по направлению подготовки 140400 "Техническая физика" / А. А. Лисенков, В. Я. Фролов ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008 .— 247 с.
4. Иванов, В. Н. Индукционный нагрев металлов. Теория и практика : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. "Техн. физика" / В. Н. Иванов, В. Я. Фролов, Д. В. Иванов ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008 .— 360 с.
5. Фролов, В. Я. Физические основы применения низкотемпературной плазмы : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. магистров "Техническая физика" / В. Я. Фролов, А. А. Лисенков, В. Т. Барченко ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010 .— 220 с.
6. Дресвин, С. В. Плазмотроны: конструкции, параметры, технологии : учеб. пособие для вузов по направлению 140400 "Техническая физика" / С. В. Дресвин, С. Г. Зверев ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007 .— 207 с.
7. Фролов, В. Я. Плазмотермические и плазмохимические методы деструкции промышленных отходов : учеб. пособие для вузов по направлению подготовки 150400 "Техн. физика" и 280200 "Защита окружающей среды" / В. Я. Фролов ; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007 .— 129, [1] с.

6. Тепловые двигатели

Введение

Программа составлена с опорой на дисциплины направлений «Теплоэнергетика», «Энергомашиностроение», связанных с изучением тепловых, газодинамических, гидродинамических, механических, физико-химических и информационных процессов, протекающих в цилиндрах и системах поршневых двигателей внутреннего сгорания и двигателей с внешним подводом тепла.

1. Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания

Термодинамические циклы поршневых двигателей. Параметры рабочих циклов. Анализ показателей циклов. Циклы комбинированных двигателей.

Рабочие тела в ДВС. Топлива, окислители, их основные свойства. Реакции сгорания жидких и газообразных топлив. Совершенное, несовершенное, полное и неполное сгорания топлива. Стехиометрическое количество воздуха, коэффициент избытка воздуха. Состав горючей смеси и продуктов сгорания. Теплота сгорания горючей смеси. Теплоемкость и внутренняя энергия смеси и продуктов сгорания.

Процессы газообмена в двигателях. Параметры рабочего тела в цилиндре в конце процессов выпуска и зарядки. Газообмен в 4-тактных двигателях. Фазы газораспределения. Процессы выпуска, наполнения, продувки и дозарядки цилиндра. Показатели процессов газообмена. Суммарный коэффициент избытка воздуха. Коэффициенты наполнения и остаточных газов.

Газообмен в 2-тактных двигателях. Действительная и геометрическая степень сжатия. Схемы газообмена. Основные периоды газообмена. Коэффициенты наполнения, остаточных газов, избытка продувочного тела, продувки, КПД очистки.

Процесс сжатия. Физические и химические процессы, протекающие в рабочем теле в процессе сжатия. Особенности процессов сжатия в двигателях с разделенными камерами сгорания.

Процессы смесеобразования в двигателях. Показатели качества горючей смеси. Внешнее и внутреннее смесеобразование. Испаряемость капель и пленок жидких топлив. Методы распыления жидких топлив и суспензий. Размеры капель и формы струи распыленного топлива. Объемное, пленочное, объемно-пленочное и послойное внутреннее смесеобразование.

Воспламенение горючих смесей. Распространение пламени по объему камер сгорания. Фазы сгорания. Концентрационные пределы распространения фронта пламени. Сгорание в разделенных и неразделенных камерах. Скорость распространения фронта пламени, характеристики тепловыделения, период задержки воспламенения, продолжительность сгорания, максимальные давления сгорания, скорости нарастания давлений. Расчет параметров рабочего тела в период сгорания. Экспериментальные методы исследования сгорания. Токсичность продуктов сгорания, способы ее снижения. Механизмы

образования токсичных веществ. Оценка экологической безопасности двигателей по полному жизненному циклу. Стандарты ISO 14000.

Процесс расширения. Теплоотдача в стенки, догорание топлива. Расчет состояния рабочего тела в процессе расширения.

Индикаторные и эффективные показатели двигателей. Среднее индикаторное давление. Удельный индикаторный расход топлива, индикаторный КПД. Составляющие механических потерь. Среднее давление трения, мощность механических потерь, механический КПД. Среднее эффективное давление, эффективная мощность двигателя. Удельный, эффективный расход топлива, эффективный КПД двигателя.

Методы повышения эффективной мощности двигателя. Литровая мощность, поршневая мощность, комбинированные показатели. Наддув как способ повышения удельной мощности двигателя. Схемы комбинированных двигателей. Системы наддува.

Внешний и внутренний тепловой балансы двигателей. Составляющие теплового баланса. Теплоотдача в двигателях и теплонапряженность деталей.

Режимы работы и характеристики двигателей. Совместная работа двигателей и потребителей мощности. Способы регулирования работы двигателей (качественное, количественное, смешанное регулирование, регулирование изменением объема).

Оптимизация рабочего процесса двигателей. Критерии оптимизации. Ограничения при оптимизации. Параметры оптимизации.

2. Конструирование двигателей внутреннего сгорания

Принципы работы и классификация поршневых двигателей. Особенности устройства и работы отдельных видов поршневых двигателей (мотокомпрессора, роторно-поршневого двигателя, дизель-молота, мотовибраторов, мото-компрессора и мотогенератора газа, двигателя с внешним подводом теплоты).

Общие принципы конструирования двигателей. Компонентные схемы двигателей. Типаж, мощностные ряды, агрегатирование. Основные показатели, характеризующие конструкции двигателей. Полный жизненный цикл двигателя. Этапы проектирования, автоматизированное проектирование. CALS-технологии в двигателестроении. Современные системы CAD/CAM/CAE/PDM.

Методы расчетов на прочность деталей двигателей. Численные методы моделирования теплового и напряженно-деформированного состояния деталей. Метод конечных элементов. Выбор расчетных режимов. Оценка прочности узлов и деталей двигателя с учетом переменной механической и тепловой нагрузок. Параметры, характеризующие надежность двигателей.

Поршни, поршневые пальцы и кольца, расчет их теплового и напряженно-деформированного состояния.

Шатуны, стержни шатунов, поршневые и кривошипные головки шатунов, шатунные болты и расчет их на прочность.

Коленчатые валы и маховики, определение их основных размеров и расчет на прочность.

Подшипники скольжения и качения. Основы гидродинамической теории смазки. Несущая способность. Тепловой расчет.

Системы управления фазами газораспределения. Механический, пневмогидравлический и электромагнитный приводы клапанов. Компоновка клапанных механизмов. Расчет на прочность деталей механизма газораспределения.

Органы газораспределения двухтактных двигателей; золотниковое газораспределение.

Фундаментные рамы, стойки и станины, картеры и поддоны, анализ конструкций, материалы, расчет на прочность.

Цилиндры и блоки цилиндров, втулки и головки (крышки) цилиндров. Анализ конструкций, материалы, расчеты на прочность.

Перспективы развития поршневых двигателей.

3. Динамика двигателей

Классификация преобразующих механизмов поршневых двигателей. Кинематика кривошипно-шатунного механизма. Силы и моменты, действующие в двигателе. Внутренняя и внешняя неуравновешенности двигателя. Способы балансировки двигателей.

Крутильные, продольные, изгибные и связанные колебания коленчатых валов, приводов систем газораспределения и топливоподачи. Уравнения колебаний. Крутильные колебания разветвленных систем. Определение амплитуд колебаний и напряжений при резонансе. Способы демпфирования колебаний в поршневых двигателях.

Шум и вибрации в двигателях, их источники. Допустимые уровни. Снижение шума и вибраций.

4. Системы двигателей

Топливные системы двигателей с внутренним смесеобразованием. Классификация. Состав и схемы линии низкого давления топливных систем. Топливоподающая аппаратура непосредственного действия.

Конструкция топливных насосов высокого давления. Проектирование и расчет топливного насоса высокого давления и его элементов.

Конструкции и расчет форсунок и насос-форсунок, их статические гидравлические характеристики, способы запираания форсунок. Проектирование и расчет форсунок. Гидродинамический расчет процесса подачи топлива.

Системы многотопливных двигателей и системы для подачи тяжелых топлив.

Аккумуляторные системы с электронным управлением. Системы с мультипликаторами давления. Электрогидравлические форсунки. Специальные насосы высокого давления.

Топливная аппаратура двигателей с внешним смесеобразованием. Способы подачи топлива. Карбюрация, впрыск и смесеобразование. Течение двухфазных смесей. Карбюраторы. Главная дозирующая и вспомогательные системы карбюратора. Многокамерные карбюраторы.

Системы впрыска бензина во впускной трубопровод. Пневмомеханическое и электронное регулирование. Центральный и распределенный впрыск. Конструкции, расчет насосов, форсунок, подогревателей и исполнительных устройств. Конструкции и свойства датчиков.

Системы впрыскивания бензина в цилиндр. Количественный и качественный способы регулировки мощности при непосредственном впрыске.

Системы питания газовых двигателей. Газовая аппаратура ДВС с принудительным и форкамерно-факельным зажиганием. Баллоны, испарители, редукторы, регуляторы давления, газосмесители, клапаны. Системы топливоподачи газожидкостных двигателей. Системы питания газодизелей. Состав систем и способы управления, конструкции элементов.

Системы охлаждения. Классификация, основные схемы. Системы жидкостного охлаждения. Охлаждающие жидкости и их характеристики. Система воздушного охлаждения, схема, конструкция дефлекторов.

Системы смазки, классификация, схемы, элементы системы и расчет их характеристик.

Системы впуска и выпуска. Трубопроводы. Воздушные фильтры. Охладители наддувочного воздуха. Глушители шума на впуске и выпуске. Настройка систем. Методы расчета и анализ конструкций. Моделирование течений газа в газовоздушном тракте двигателей.

Способы пуска двигателей. Пусковые качества. Способы облегчения запуска.

Система энергоснабжения установок ДВС, электрическая система пуска. Системы зажигания. Параметры систем. Системы с механическим прерывателем и бесконтактными датчиками. Адаптивные системы. Системы зажигания в составе систем электронного управления двигателем.

Способы нейтрализации отработавших газов. Дожигание, каталитическая нейтрализация, химические поглотители. Трехкомпонентные нейтрализаторы. Рециркуляция отработавших газов.

Системы вторичного использования теплоты. Системы утилизации теплоты выпускных газов и охлаждающих жидкостей двигателей.

Системы диагностирования двигателей. Виды диагностики. Методы и возможности безразборной диагностики. Средства обеспечения диагностики двигателей и его систем.

5. Агрегаты наддува двигателей

Объемные компрессоры, характеристика и особенности работы. Принцип действия и рабочий процесс поршневого компрессора. Принцип действия и показатели роторных компрессоров. Принцип действия и особенности рабочего процесса роторно-винтового компрессора.

Центробежные компрессоры. Работа, затрачиваемая на сжатие воздуха. Процессы в P-V; i-S; T-S диаграммах. Коэффициенты полезного действия. Расчет проточной части компрессора. Входные устройства, типы, расчет параметров потока. Потери при течении воздуха через колесо. Течение воздуха в диффузоре. Лопаточный и безлопаточный диффузоры. Профилирование лопаток. Течение воздуха в сборниках и улитках.

Газовые турбины для наддува ДВС. Активные и реактивные, осевые и радиальные турбины. Истечение газа из сопел. Обтекание газом решетки лопаток, потери в решетках. Работа газа на окружности рабочего колеса и коэффициенты полезного действия. Расчет решетки сопловых и рабочих лопаток. Принципы профилирования лопаток. Безлопаточный сопловой аппарат центростремительной турбины.

Особенности работы компрессоров и турбин в составе комбинированного двигателя. Характеристики объемных и центробежных компрессоров и газовых турбин. Понятие об устойчивости работы центробежного и осевого компрессора. Помпаж. Регулирование турбокомпрессоров. Согласование характеристик поршневого двигателя и агрегатов наддува.

6. Основы научных исследований и испытаний двигателей

Понятие измерения. Ошибки измерений. Виды испытаний двигателей. ГОСТы на испытания.

Преобразование неэлектрических величин в электрические. Первичные преобразователи. Усилители. Формирователи. Аналого-цифровые преобразователи. Выходные устройства. Осциллографы, потенциометры, мосты. Регистрация результатов. Измерение времени.

Измерение стационарных и переменных давлений. Приемники статического и полного давления. Датчики для измерения быстропеременных давлений. Индицирование.

Измерение стационарных и мгновенных расходов жидкостей и газов. Измерение скорости нестационарных потоков жидкостей и газов. Термоанемометр и лазерный доплеровский измеритель скорости. Ионный анемометр.

Измерение стационарных и нестационарных температур и тепловых потоков в ДВС. Измерения температур в цилиндре двигателя. Токосъемники, бесконтактные способы передачи сигналов от датчиков.

Методы химического анализа газов в исследованиях ДВС. Классификация газоанализаторов. Дымомеры. Измерение содержания твердых частиц в выпускных газах.

Аппаратура и способы измерения шума и вибрации двигателя. Измерение общего уровня шума и уровня шума отдельных источников.

Оборудование боксов и лабораторий. Испытательные стенды. Гидравлические, электрические и индукторные тормоза и их характеристики. Согласование характеристик тормоза и двигателя. Автоматизированные измерительные комплексы. Интерфейс, средства сбора и первичной обработки сигналов, организация многоканального опроса и синхронизация.

Основные понятия математической теории эксперимента. Полные и дробные факторные планы. Планы для получения регрессий с взаимодействующими факторами. Центральные композиционные планы. Ортогональные и ротатабельные планы. Сверхнасыщенные и насыщенные планы. Выделение существующих факторов. Отсеивающие эксперименты.

Моделирование двигателей. Виды моделей. Физическое моделирование. Критерии подобия, методы их получения. Математическое моделирование. Классификация математических моделей. Кибернетические модели.

Оценивание параметров математических моделей по результатам измерений. Общие положения теории оценивания. Вероятностный и гарантирующий методы.

7. Автоматическое регулирование и управление двигателями внутреннего сгорания

Системы автоматического управления (САУ) и регулирования (САР). Двигатель и регулятор как элементы САР. Установившиеся и неуставившиеся режимы работы.

Статические и динамические характеристики. Устойчивость двигателей, самовыравнивание.

Дифференциальное уравнение двигателя как объекта регулирования по частоте вращения. Передаточные функции и структурная схема двигателя. Динамические характеристики двигателя: переходные процессы, частотные характеристики. Регуляторы прямого действия. Статические характеристики. Регуляторы непрямого действия. Исполнительные устройства регуляторов. Серводвигатели. Конструктивные схемы и принцип действия. Передаточная функция и структурная схема.

Устойчивость САР. Критерии устойчивости Рауза—Гурвица, Михайлова, Найквиста, особенности их использования. Показатели работы САР. Прямые и косвенные показатели качества. Диаграмма Вышнеградского.

Нелинейные САР. Типовые нелинейности в САР двигателей. Особенности нелинейных САР – устойчивость и автоколебания.

Микропроцессорные устройства в системах управления двигателями. Элементы систем управления. Системы управления наддувом, газораспределением, рециркуляцией отработавших газов.

Автоматизация двигателей. Задачи автоматизации двигателей различного назначения. Степени автоматизации двигателей. Автоматическая защита, сигнализация, диагностирование. Автоматизация пуска и остановки. Дистанционное управление.

8. Химмотология

Моторные нефтепродукты. Элементный, фракционный и групповой состав. Стабильность нефтепродуктов. Низкотемпературные свойства. Противопожарная безопасность. Токсичность нефтепродуктов.

Топлива для двигателей с принудительным воспламенением. Детонационная стойкость бензина и ее оценка. Методы определения октановых чисел. Ассортимент бензинов. Новые виды топлив.

Топливо для двигателей с воспламенением от сжатия. Классификация топлив. Воспламеняемость топлив и методы ее оценки. Цетановое число и его влияние на пуск и рабочий процесс дизеля. Присадки к топливам.

Синтетические топлива, спирты, растительные масла.

Газообразные топлива. Природные, попутные, промышленные и генераторные газы. Свойства газообразных топлив. Сжатые и сжиженные газы. Водород как топливо. Диметиловый эфир. Биогаз.

Использование каменного угля, горючих сланцев, древесины и других видов твердых топлив в ДВС.

Смазочные материалы и их классификация. Требования к моторным маслам. Присадки, улучшающие качество масел. Регенерация масел. Трансмиссионные масла, их классификация. Пластические смазки.

Вопросы к экзамену

1. Определение идеального цикла. Циклы со смешанным подводом тепла, циклы с подводом тепла при постоянном объеме и постоянном давлении. Сравнение циклов.
2. Исследовательские испытания ДВС. Параметры двигателей и их систем, определяемые при испытаниях.
3. Сгорание в двигателях с искровым зажиганием. Фазы горения. Характеристики активного тепловыделения.
4. Способы нейтрализации отработавших газов. Трехкомпонентные нейтрализаторы. Рециркуляция отработавших газов.
5. Принципы преобразования неэлектрических величин в электрические сигналы. Принципы построения измерительных приборов и систем измерений. Погрешности измерений.
6. Детонационное сгорание. Влияние различных факторов на развитие детонационного сгорания. Калильное зажигание.
7. Измерение температур, давлений, скоростей, расходов жидкостей и газов.
8. Системы газообмена двухтактных ДВС. Контурные и прямоточные системы. Органы газораспределения. Определение располагаемого времени-сечения.
9. Компонентные схемы двигателей. Силовые схемы корпусов.
10. Измерения температур подвижных и неподвижных деталей ДВС.
11. Способы регулирования работы двигателей (качественное, количественное, смешанное регулирование).
12. Картер. Разновидности конструкции картера. Требования к конструкции. Рекомендации по повышению жесткости. Конструктивные соотношения.
13. Методы индизирования процессов в цилиндрах ДВС.
14. Процесс газообмена. Показатели качества газообмена. Взаимосвязь основных показателей качества газообмена.
15. Коленчатый вал. Условия работы. Требования к конструкции. Конструктивные типы.
16. Классификация характеристик двигателя. Скоростные характеристики двигателей с искровым зажиганием и с воспламенением от сжатия.
17. Процесс образования оксидов азота в цилиндре ДВС. Методы снижения выбросов оксидов азота с отработавшими газами.
18. Шатуны, стержни шатунов, поршневые и кривошипные головки шатунов, шатунные болты и расчет их на прочность.
19. Нагрузочные характеристики двигателей с искровым зажиганием и с воспламенением от сжатия.
20. Коленчатые валы, определение их основных размеров и расчет на прочность.

21. Последовательность анализа уравновешенности двигателей сложных компоновочных схем.
22. Смесеобразование в двигателях с искровым зажиганием и расслоением заряда.
23. Поршневая группа. Назначение, условия работы, требования к конструкции. Поршни крейцкопфных и тронковых ДВС. Поршни двухтактных и четырехтактных ДВС.
24. Системы охлаждения. Классификация, основные схемы.
25. Регулировочные характеристики ДВС по углу опережения зажигания (подачи топлива).
26. Механизм образования сажи в цилиндре двигателя. Методы снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами.
27. Методы моделирования напряженно-деформированного состояния деталей в ДВС.
28. Регулировочные характеристики двигателя с искровым зажиганием по составу смеси.
29. Механизм газораспределения. Механический, пневмогидравлический и электромагнитный приводы клапанов. Системы управления фазами газораспределения. Расчет на прочность деталей механизма газораспределения.
30. Методы моделирования термодинамических процессов в поршневых машинах.
31. Сгорание в дизелях. Фазы сгорания в дизелях. Особенности дизельного процесса.
32. Классификация топлив. Горючие смеси. Стехиометрический состав. Пределы воспламеняемости горючих смесей. Теплота сгорания топлив и горючих смесей.
33. Проблемы воздухообеспечения поршневых двигателей. Влияние принятой системы воздухообеспечения на наполнение цилиндров свежим зарядом.
34. Цилиндры и блоки цилиндров, втулки и головки (крышки) цилиндров. Анализ конструкций, материалы, расчеты на прочность.
35. Наддув как способ повышения удельной мощности двигателя. Схемы комбинированных двигателей. Системы наддува.
36. Требования к характеристикам дизельных топлив. Воспламеняемость дизельных топлив и методы ее оценки.
37. Топливные системы двигателей с внутренним смесеобразованием. Гидродинамический расчет процесса подачи топлива.
38. Топлива для двигателей с принудительным воспламенением. Детонационная стойкость бензина и ее оценка.

39. Требования к смазочным материалам для ДВС и их классификация. Присадки, улучшающие качество масел.
40. Согласование характеристик поршневого двигателя и агрегатов наддува.
41. Способы пуска двигателей. Пусковые качества. Способы облегчения запуска.
42. Классификация газоанализаторов. Дымомеры. Измерение содержания твердых частиц в выпускных газах.

Рекомендуемая литература:

1. Двигатели внутреннего сгорания: Моделирование процессов в ДВС / Под. ред. Луканина В.Н. и Шатрова М.Г. — М.: Высшая школа, 2007
2. Двигатели внутреннего сгорания: Динамика и конструирование / Под. ред. Луканина В.Н. и Шатрова М.Г. — М.: Высшая школа, 2007
3. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов: учебник для вузов / Под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова — М.: Высшая школа, 2007
4. Теория и моделирование процессов в ДВС: Примеры и задачи / Галышев Ю.В., Зайцев А.Б., Петриченко М.Р. — СПб, Изд-во СПбГПУ, 2002
5. Локальный теплообмен в поршневых двигателях / Кавтарадзе Р.З. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001
6. Элементы системы автоматизированного проектирования ДВС: Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко, С.А. Батулин, Ю.Н. Исаков и др.; под общ. ред. Р.М. Петриченко — Л.: Машиностроение, 1990
7. Методы защиты окружающей среды: учебник для вузов по направлению подготовки 140500 "Энергомашиностроение" / Росляков П.В. — М. : Издательский дом МЭИ, 2007
8. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко — Москва: Высшая школа, 2003
9. Токсичность отработавших газов дизелей / Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002
10. Методы и приборы экологического мониторинга. Экологический мониторинг: учебное пособие / А. А. Вытовтов и др. Под ред. Конопелько — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008
11. Испытания ДВС / Райков И.Я. — М., Высшая школа, 1975
12. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник / И.Г.Анисимов и др., под ред. В.М. Школьников — М.: Издательский центр "Техинформ", 1999
13. Автомобильные двигатели: Рабочие циклы. Показатели и характеристики. Методы повышения эффективности энергопотребления / В.Р. Бурячко, А.В. Гук — СПб: НПИКЦ, 2005
14. Теория и моделирование процессов в ДВС: Примеры и задачи: / Ю.В. Галышев, А.Б. Зайцев, М.Р. Петриченко — Санкт-Петербург: Изд-во СПбГПУ, 2002
15. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. / Файнлейб Б.Н. — Л.: Машиностроение, 1990

16. Современные подходы к конструированию поршневых двигателей / Конкс Г.А., Лашко В.А. — М.: Моркнига, 2009
17. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / Колчин А.И. — М.: Высшая школа, 2008
18. Конструирование и расчет ДВС / Чайнов Н.Д. — Москва, Машиностроение, 2010
19. Справочник конструктора / Галышев Ю.В., Петриченко М.Р. — СПб., Политехника, 2006
20. Химмотология. учеб. пособие /Эксплуатационные материалы для двигателей внутреннего сгорания : Изд-во Политехн. ун-та — СПб., Ю.В. Галышев, А.Б. Зайцев, А.Ю. Шабанов. 2009
21. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент / Сафонов А.С. — НПИКЦ. СПб., 2002
22. Технология двигателестроения: Учебник / А.Л. Карунин, О.А. Дащенко, В.И. Гладков и др. — М.:Высш. Шк., 2006
23. Справочник по конструкционным материалам / Арзамасов Б.Н., Соловьёва Т.В., Герасимов С.А. — М.: Изд-во МГТУ, 2005
24. Теория поршневых двигателей. Специальные главы / Р.З. Кавтарадзе — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008
25. Динамика двигателей. Уравновешивание двигателей внутреннего сгорания / В.В. Румянцев, В.А. Сеницын — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009
26. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов. / Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. — М.: Легион-Автодата, 2004
27. Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого. Первое русское издание. / Bosch — М.: ООО “Книжное издательство “За рулем”, 2005

7. Турбомашины и комбинированные турбоустановки

Введение

Программа составлена с опорой на дисциплины направления «Энергетическое машиностроение» специальности «Газотурбинные, паротурбинные установки и двигатели», связанные с особенностями анализа, синтеза и технического использования турбомашин и турбоустановок, агрегатов и аппаратов вспомогательного оборудования, используемых на электростанциях и на транспорте.

1. Тепловые циклы турбинных установок

Принципиальные схемы и тепловые циклы паро- и газотурбинных установок для электростанций, использующих органическое и ядерное топливо. Комбинированные циклы и схемы парогазовых установок. Тепловая эффективность установок и методы ее повышения. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии. Перспективные циклы и схемы турбинных и комбинированных установок для электростанций на органическом и ядерном топливе.

2. Механика жидкости и газа

Кинематика сплошной среды. Движение малой частицы жидкости и теорема Гельмгольца о движении жидкости в общем случае. Потенциальные и вихревые движения в жидкости. Линия тока и вихревая линия. Методы изучения движения жидкости. Циркуляция скорости. Формула Био-Савара.

Основные уравнения движения жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение расхода. Уравнения движения в форме Эйлера, Громеко-Лэмба и Навье-Стокса. Интегральные уравнения движения для идеальной жидкости. Уравнение энергии и его формы.

Одномерная схема течения. Уравнения одномерного течения. Параметры полного торможения. Скорость звука и критическая скорость. Связь безразмерных параметров потока с безразмерными скоростями M и λ . Критические параметры. Условия перехода через скорость звука. Приведенный расход и удельный приведенный расход. Газодинамические функции. Осреднение неравномерных потоков и приведение их к одномерной схеме течения.

Потенциальные течения. Плоские потенциальные течения несжимаемой жидкости. Комплексные потенциалы элементарных потоков и их использование для расчетов потенциальных течений. Уравнение для расчета скорости в сжимаемом потоке. Уравнение Н.Е. Жуковского о подъемной силе. Постулат Чаплыгина-Жуковского.

Сверхзвуковые течения. Особенности сверхзвуковых потоков. Характеристики в плоскости течения и в плоскости годографа скорости.

Диаграмма характеристик и ее использование для сверхзвуковых потоков. Возникновение скачков уплотнений. Прямой скачок уплотнения и его расчет. Диаграмма ударных поляр. Потери энергии в скачках уплотнения.

Истечение из сопл и непрофилированных отверстий. Переменные режимы суживающихся сопл. Сопло Лавая и диаграмма переменных режимов сопл Лавая. Профилированные сопла Лавая. Истечение из непрофилированных отверстий. Коэффициенты расхода при истечении из щелей с острой кромкой.

Теория подобия и размерностей. Задачи теории подобия. Коэффициенты подобия и числа подобия. П-теорема. Условие физического подобия течения. Критерии подобия. Полное и частичное моделирование.

Течение вязкой жидкости. Точные решения уравнений Навье-Стокса. Ламинарный и турбулентный типы течения. Способы осреднения турбулентных потоков и их основные характеристики. Уравнение Рейнольдса. Пограничный слой. Пути решения уравнений для пограничного слоя. Модели турбулентности. Отрыв пограничного слоя и пути его предотвращения. Численные решения задач МЖГ.

Течение двухфазных и двухкомпонентных сред. Особенности двухфазных течений. Гомогенное течение с постоянной концентрацией второй фазы. Гомогенное течение жидкости с пузырьками газа. Течение двухфазной среды при фазовом равновесии или полном переохлаждении. Тепловые скачки и скачки конденсации.

3. Ступень турбомашин

Преобразование энергии в ступенях турбины и компрессора. Расчет турбинной и компрессорной ступеней. Особенности проектирования ступеней большой веерности. Ступени скорости, радиальные, радиально-осевые и диагональные ступени. Двухъярусные ступени. Коэффициент полезного действия (КПД) турбинной и компрессорной ступени. Основные виды потерь в ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД. Степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Влияние влажности и охлаждения на основные характеристики ступени паровой и газовой турбины.

4. Решетки турбомашин

Турбинные и компрессорные решетки, их классификация. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток турбомашин. Методы плоского, осесимметричного и пространственного расчета решеток. Профильные и концевые потери в решетках, методы их расчета. Решетки паровых турбин для влажного пара. Процессы неравновесного влагообразования в решетках. Основные особенности движения переохлажденного и влажного пара в решетках паровых турбин. Нестационарные течения в решетках турбомашин. Переменные, аэродинамические силы. Вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора. Флаттер и помпаж. Вращающийся

отрыв в решетках турбомашин. Пульсации давления в потоках влажного пара, нестационарные скачки конденсации.

5. Многоступенчатые турбины

Тепловой процесс в многоступенчатой турбине. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Выбор конструкции и ремонт многоступенчатых турбин. Предельная мощность однопоточной паровой и газовой турбины. Пути повышения предельной мощности турбины.

Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров паровой турбины. Техничко-экономические основы выбора конструкции турбины. Осевые усилия в турбинах, их расчет и методы уравнивания. Концевые уплотнения. Регулирующие лапаны, впускные и выхлопные патрубки турбин. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины. Выносные сепараторы-пароперегреватели турбин атомных электростанций (АЭС).

6. Расчет и проектирование многоступенчатых компрессоров

Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы в работе компрессора. Универсальная характеристика. Моделирование компрессоров. Многоступенчатые центробежные компрессоры. Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора. Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров.

7. Переменный режим работы турбин

Газодинамическое подобие. Переменный режим работы ступени. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работы турбины. Влияние изменения режима работы на КПД турбины. Особенности работы последних ступеней конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара. Система парораспределения. Изменение нагрузки паровой турбины методом скользящего давления. Методы расчета турбин при переменном режиме работы. Загрязнение проточной части.

Переменный режим работы газотурбинной установки (ГТУ). Способы изменения режима работы ГТУ. Согласование режимов работы турбомашин. Представление характеристик методами подобия. Зависимость показателей ГТУ от нагрузки и температуры наружного воздуха, ее цикла и схемы. Диаграмма режимов ГТУ. Режим пуска ГТУ, пусковые устройства.

8. Турбины для комбинированной выработки тепла и электрической энергии

Турбины с противодавлением, с промежуточным регулируемым отбором пара. Ступенчатый подогрев воды. Диаграммы режимов работы турбины. Использование для теплофикации тепла ГТУ и АЭС.

9. Теплообмен в элементах турбомашин

Основные уравнения теплопроводности и конвективного теплообмена. Теплообмен при фазовых превращениях. Теплообмен при проникающем охлаждении и газовых завесах. Распределение температуры в охлаждаемых турбинных лопатках, роторах и корпусах. Методы решения задач теплопроводности и теплообмена применительно к основным деталям турбин. Конструкции охлаждаемых лопаток газовых турбин.

10. Динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин

Надежность турбин как основное требование их изготовления, монтажа и эксплуатации. Материалы, используемые в турбостроении. Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах. Свойства сталей и сплавов, применяемых в турбостроении, и требования к ним. Процессы, сопровождающие работу металлов при высоких температурах, длительной эксплуатации и переменных нагрузках. Коррозионная усталость и коррозионное растрескивание под напряжением в элементах турбины под влиянием агрессивных примесей в паре. Коррозия лопаток ГТУ, защитные покрытия. Рабочие лопатки, их вибрационная прочность. Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата. Диски, их прочность и вибрации. Вибрации роторов и фундамента. Низкочастотные вибрации роторов. Методика численного анализа и расчета напряженного состояния деталей турбин. Гидродинамические силы в ступенях, уплотнениях и подшипниках. Маневренность турбин. Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость.

11. Регулирование турбин

Принципиальные схемы регулирования паровых и газовых турбин. Статические характеристики регулирования. Параллельная работа турбогенераторов. Математическое описание системы регулирования турбин. Устойчивость системы регулирования турбин. Переходные процессы в системах регулирования турбин. Использование вычислительной техники для анализа переходных процессов в системе регулирования турбины и синтеза системы регулирования. Механизм управления паровой конденсационной турбиной. Особенности регулирования турбин для комбинированной выработки тепла и электрической энергии. Регулирование ГТУ. Регуляторы температуры газов и мощности. Регулирование энергетических блоков тепловых электрических станций и АЭС. Защитные устройства турбинных установок. Использование цифровых и микропроцессорных систем для управления турбинной установкой. Автоматизация пуска турбинной установки. Системы автоматического управления.

Вопросы к экзамену

1. Принципиальные схемы и тепловые циклы паро- и газотурбинных установок для электростанций, использующих органическое и ядерное топливо.
2. Кинематика сплошной среды. Движение малой частицы жидкости и теорема Гельмгольца о движении жидкости в общем случае.
3. Турбины для комбинированной выработки тепла и электрической энергии.
4. Комбинированные циклы и схемы парогазовых установок.
5. Потенциальные и вихревые движения в жидкости. Линия токовихревая линия.
6. Принципиальные схемы регулирования паровых и газовых турбин. Статические характеристики регулирования.
7. Основные уравнения движения жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение расхода. Уравнения движения в форме Эйлера, Громеко-Лэмба и Навье—Стокса.
8. Преобразование энергии в ступенях турбины и компрессора. Расчет турбинной и компрессорной ступеней.
9. Тепловой процесс в многоступенчатой турбине. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Выбор конструкции и ремонт многоступенчатых турбин.
10. Интегральные уравнения движения для идеальной жидкости. Уравнение энергии и его формы.
11. Основные уравнения теплопроводности и конвективного теплообмена. Теплообмен при проникающем охлаждении и газовых завесах.
12. Надежность турбин как основное требование их изготовления, монтажа и эксплуатации. Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах.
13. Одномерная схема течения. Уравнения одномерного течения. Параметры полного торможения. Скорость звука и критическая скорость. Связь безразмерных параметров потока с безразмерными скоростями
14. Турбинные и компрессорные решетки, их классификация. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток турбомашин. Методы плоского, осесимметричного и пространственного расчета решеток
15. Переменный режим работы газотурбинной установки (ГТУ). Способы изменения режима работы ГТУ. Согласование режимов работы турбомашин. Представление характеристик методами подобия.
16. Газодинамические функции. Осреднение неравномерных потоков и приведение их к одномерной схеме течения.
17. Профильные и концевые потери в решетках, методы их расчета.
18. Зависимость показателей ГТУ от нагрузки и температуры наружного воздуха, ее цикла и схемы. Диаграмма режимов ГТУ. Режим пуска ГТУ, пусковые устройства.
19. Комбинированная выработка тепловой и электрической энергии.

20. Сверхзвуковые течения. Особенности сверхзвуковых потоков. Характеристики в плоскости течения и в плоскости годографа скорости. Диаграмма характеристик и ее использование для сверхзвуковых потоков.
21. Параллельная работа турбогенераторов. Математическое описание системы регулирования турбин. Устойчивость системы регулирования турбин. Переходные процессы в системах регулирования турбин. Использование вычислительной техники для анализа переходных процессов в системе регулирования турбины и синтеза системы регулирования.
22. Перспективные циклы и схемы турбинных и комбинированных установок для электростанций на органическом и ядерном топливе.
23. Возникновение скачков уплотнений. Прямой скачок уплотнения и его расчет. Диаграмма ударных поляр. Потери энергии в скачках уплотнения.
24. Механизм управления паровой конденсационной турбиной. Особенности регулирования турбин для комбинированной выработки тепла и электрической энергии. Регулирование ГТУ. Регуляторы температуры газов и мощности. Регулирование энергетических блоков тепловых электрических станций и АЭС.
25. Теория подобия и размерностей. Задачи теории подобия. Коэффициенты подобия и числа подобия. П-теорема. Условие физического подобия течения. Критерии подобия. Полное и частичное моделирование
26. Степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Влияние влажности и охлаждения на основные характеристики ступени паровой и газовой турбины.
27. Ступени скорости, радиальные, радиально-осевые и диагональные ступени. Двухъярусные ступени. Коэффициент полезного действия (КПД) турбинной и компрессорной ступени.
28. Истечение из сопл и непрофилированных отверстий. Переменные режимы суживающихся сопл. Сопло Лавля и диаграмма переменных режимов сопл Лавля. Профилированные сопла Лавля. Истечение из непрофилированных отверстий. Коэффициенты расхода при истечении из щелей с острой кромкой.
29. Основные виды потерь в ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД.
30. Переменные, аэродинамические силы. Вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора. Флаттер и помпаж. Вращающийся отрыв в решетках турбомашин. Пульсации давления в потоках влажного пара, нестационарные скачки конденсации.
31. Течение вязкой жидкости. Точные решения уравнений Навье—Стокса. Ламинарный и турбулентный типы течения. Способы осреднения турбулентных потоков и их основные характеристики. Уравнение Рейнольдса. Пограничный слой.
32. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины. Выносные сепараторы-пароперегреватели турбин атомных электростанций (АЭС).

33. Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы в работе компрессора. Универсальная характеристика. Моделирование компрессоров.
34. Тепловой процесс в многоступенчатой турбине. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Выбор конструкции и ремонт многоступенчатых турбин. Предельная мощность однопоточной паровой и газовой турбины. Пути повышения предельной мощности турбины.
35. Переменный режим работы ступени. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работы турбины. Влияние изменения режима работы на КПД турбины.
36. Процессы, сопровождающие работу металлов при высоких температурах, длительной эксплуатации и переменных нагрузках.
37. Распределение температуры в охлаждаемых турбинных лопатках, роторах и корпусах. Методы решения задач теплопроводности и теплообмена применительно к основным деталям турбин. Конструкции охлаждаемых лопаток газовых турбин.
38. Регулирование ГТУ. Регуляторы температуры газов и мощности. Регулирование энергетических блоков тепловых электрических станций и АЭС. Защитные устройства турбинных установок. Использование цифровых и микропроцессорных систем
39. Автоматизация пуска турбинной установки. Системы автоматического управления.
40. Низкочастотные вибрации роторов. Методика численного анализа и расчета напряженного состояния деталей турбин.
41. Коррозия лопаток ГТУ, защитные покрытия.
42. Диски, их прочность и вибрации. Вибрации роторов и фундамента.

Основная рекомендуемая литература

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. -М.: Энергия, 1993.
2. Паровые и газовые турбины. Под ред. В.В. Фролова и А.Г. Костюка. –М.: Изд-во МЭИ, 2002.
3. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. –М.: Изд-во МЭИ, 2000.
4. Газовая динамика МЖГ. Под ред А.И. Леонтьева, 1997.
5. Самойлович Г.С. Гидроаэромеханика. –М.: Машиностроение, 1980.
6. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. –Л.: Машиностроение, 1982.

7. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. –М.: Энергоиздат, 1982.

8. Елисеев Ю.С., Манушин Э.А., Михальцев В.Е., Осипов М.И., Суровцев И.Г. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.

Дополнительная литература

1. Газотурбинные установки. Конструкции и расчет. Справочное пособие. –Л.: Машиностроение, 1978.

2. Костюк А.Г., Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. –М.: Высшая школа, 1979.

3. Кириллов И.И. Газовые турбины и газотурбинные установки. –М.: Машгиз, 1956.

4. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. –М.: Энергоатомиздат, 0985.

8. Электрические станции и электроэнергетические системы

Введение

Составлено на основе дисциплин направления «Электроэнергетика», связанных с особенностями проектирования и эксплуатации электростанций и сетей, анализом режимных параметров и устойчивости электроэнергетических систем, приемами релейной защиты и автоматического управления в электрических системах

Основные разделы

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.

Проектирование 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, моделированием процессов отказов и восстановлении элементов и схем в электроэнергетике.

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

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

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

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

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

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

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.

Вопросы

1. Технологический процесс производства электроэнергии на тепловых электростанциях с паротурбинными, газотурбинными и парогазовыми установками, на атомных электростанциях с реакторами ВВЭР, РБМК, БН. Особенности собственных нужд электростанций различного типа. Механизмы собственных нужд и их приводы.
2. Режимы работы синхронных генераторов и компенсаторов. Диаграмма режимов работы при различных значениях коэффициента мощности. Основные способы пуска синхронных машин.
3. Режимы работы трансформаторов и автотрансформаторов. Нагрузочная способность трансформаторов.
4. Режимы работы асинхронных электродвигателей (АЭД). Основные характеристики АЭД. Зависимости электромагнитного момента и кратности пускового тока от частоты вращения. Пуск и самозапуск АЭД.
5. Самозапуск электродвигателей собственных нужд. Определение и возможные пути возникновения режима самозапуска. Методика расчета успешности самозапуска. Способы улучшения условий самозапуска электродвигателей.
6. Выбор трансформаторов собственных нужд, коммутационных аппаратов и токоведущих частей в цепях собственных нужд.
7. Качественный анализ переходных процессов в ЭЭС при регулировании частоты.
8. Факторы, влияющие на характер протекания процессов в ЭЭС при регулировании частоты. Определение и физический смысл регулирующего эффекта нагрузки по частоте.
9. Автоматический регулятор скорости вращения турбины (АРСТ). Структурная схема, описание элементов.
10. Принципы построения систем регулирования частоты и активной мощности ЭЭС. Понятие статизма. Статическое и астатическое регулирование.
11. Параллельная работа агрегатов с различными (астатический и/или статический) принципами регулирования статическими характеристиками. Понятие первичного и вторичного регулирования.
12. Системы возбуждения СМ. Классификация. Электромашинная система возбуждения (СВ) с возбудителем постоянного тока. Обобщенная структурная схема. Принцип работы.
13. Регулятор напряжения с регулированием по току статора. Схема токового компаундирования по амплитуде и ее принцип действия.
14. Регулятор напряжения с регулированием по току статора. Схема токового компаундирования по фазе. Принцип работы ЭМК. Анализ работы данной схемы. Векторные диаграммы.
15. Тиристорная СВ. Структурная схема. Принцип действия (ОМВ и т.д.). Закон регулирования.
16. Фильтры в средствах РЗ и ПА. Постановка задачи фильтрации. Стационарные, нестационарные фильтры. Основы классической теории фильтрации. Виды частотных характеристик, их параметры. Аппроксимация функцией Баттерворта. Получение передаточной функции.
17. Общие сведения о первичных измерительных преобразователях тока и напряжения. Обозначение, подключение к первичным цепям. Назначение. Особенности ТА подключения нагрузки, разметка зажимов, векторная диаграмма идеального ТА, параметры: $p_{ном}$, f_i , $\square$, $Z_{нагр.}$, кривые предельной кратности K_{10} . Выбор ТА по K_{10} , U_n , I_n и др.
18. Входные преобразователи электронных защит. Первичные измерительные трансформаторы напряжения. Обозначение, разметка зажимов, векторная диаграмма идеального TV. Подключение нагрузки. Параметры. Схема соединений. Конструктивные особенности. Емкостные TV.

19. Схемы соединения TV - открытый треугольник. НТМИ (НТМК) 5-ти стержневой. Общие сведения о фильтрах симметричных составляющих: разложение на симметричные составляющие, назначение фильтров.
20. Переходный и установившийся ток небаланса. Расчет тока срабатывания дифференциальной защиты. Способы повышения чувствительности дифференциальной защиты. Реле с торможением. Алгоритмы формирования тормозных сигналов. Схема дифференциальной защиты с торможением.
21. Диаграммы работы защиты с торможением. Ее параметры. Применение БНТ для борьбы с переходным током небаланса защита генераторов от витковых к.з. Особенности построения. Расчет параметров. Область применения.
22. Защита генераторов от замыканий на землю в цепях статора. Общие сведения о защите с учетом особенностей подключения генераторов. Защита блоков генератор-трансформатор от замыканий на землю в цепях статора контролирующая 3U₀ (напряжение нулевой последовательности). Схемные особенности, расчет параметров срабатывания.
23. Защита блоков генератор-трансформатор от замыканий на землю в цепях статора, контролирующая E3f. Защиты, контролирующие сопротивление изоляции.
24. Защита генераторов, работающих на сборные шины, от замыкания на землю в цепях статора, контролирующая ток нулевой последовательности. Схемы, ее особенности. Расчет параметров срабатывания.
25. Классификация системных и локальных средств ПА. Анализ электромеханических переходных процессов в позиционной ЭЭС
26. Эффективность ОАПВ. Анализ устойчивости электропередачи при отсутствии АПВ. Анализ эффективности работы ОАПВ.
27. Автоматика ограничения снижения (повышения) напряжения АОС(П)Н. Схема управления АОПН.
28. Автоматика фиксации отключения линий электропередачи (ФОЛ). Принципиальная схема, особенности реализации автоматики ФОЛ коммутационного типа. Дифференциальный принцип ФОЛ параллельных ВЛ. Оценка чувствительности ФОЛ с дифференциальным принципом. Автоматика ФОЛ с использованием измерительного органа с контролем скорости снижения мощности. Типовая структурная схема ФОЛ с использованием ВЧ каналов.
29. Автоматика фиксации тяжести коротких замыканий (ФТКЗ). Схема управления автоматики ФТКЗ.
30. Автоматика импульсного управления мощностью турбины (ИУМТ). Автоматика разгрузки электрических станций.
31. Автоматика электрического торможения (ЭТ) генераторов электрических станций.
32. Вопросы эффективности автоматики отключения нагрузки (САОН) и автоматики отключения (блоков) генераторов (ОГ) электрических станций.
33. Автоматика ликвидации асинхронных режимов (АЛАР). Особенности исследования несинхронных режимов работы. Факторы, определяющие возникновение асинхронных режимов работы в ЭЭС. Качественный анализ недопустимости асинхронного хода (АХ). Качественный анализ квазиустановившегося асинхронного режима. Принципы выполнения автоматики АЛАР.
34. Метод симметричных составляющих при расчете токов короткого замыкания. Способы ограничения токов короткого замыкания.
35. Устойчивость электрических систем. Критерии оценки статической устойчивости электрических систем.
36. Динамическая устойчивость электрических систем и мероприятия ее повышения.
37. Уравнения переходных процессов синхронной машины.

38. Активная и реактивная мощность. Способы повышения пропускной способности ЛЭП.
39. Уравнения длинной линии. Полуволновые ЛЭП.
40. Режимы холостого хода и нагрузочные режимы дальней линии электропередачи.
41. Установившиеся режимы электрической системы. Модели элементов и методы исследования.
42. Математическое описание процессов в системах автоматического управления. Коррекция динамических свойств систем автоматического управления.
43. Системы регулирования возбуждения синхронных генераторов. Классификация, структура.

Литература

1. Ульянов С.А., Электромагнитные переходные процессы в электрических системах, «Энергия», 1970.
2. Г.А.Евдокунин, Электрические системы и сети, СПб.: СПбПУ, 2011г., 286с.
3. Веников В.А., Зуев Э.Н., Портной М.Г. и др. Электрические системы: Управление переходными режимами электроэнергетических систем: Учебник. – М.: Высш. школа, 1982. – 247 с.
4. Передача электрической энергии / Г.Н. Александров. - 2-е изд. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2002г. - 412 с.
5. Беляев А.Н., Першиков Г.А., Рындина И.Е., Смоловик С.В., Чудный В.С. Основы переходных процессов в электроэнергетических системах. Конспект лекций. Часть II. СПб: Нестор, 2010. 76 с.
6. Беляев А.Н., Першиков Г.А., Рындина И.Е., Смоловик С.В. Переходные процессы в электроэнергетических системах. Часть III. СПб: СПбГПУ, 2012. 156 с.
7. Е.И.Юревич. Теория автоматического управления. Москва. "Энергия" 1969. - 375с
8. Васильев А.А., Крючков И.П., Наяшкова Е.Ф. Электрическая часть станций и подстанций / Под ред. А.А. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Околович Н.М. Проектирование электрических станций. М.: Энергоатомиздат, 1982.
10. Алексеев О.П., Казанский В.Е., Козис В.Л. / Автоматика электроэнергетических систем. М.: Энергоиздат, 1981.
11. Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. М.: Энергоатомиздат, 1998.

9. Промышленная теплоэнергетика

Введение

Составлено на основе дисциплин направления «Теплоэнергетика», связанных с особенностями анализа, синтеза и технического использования промышленного теплотехнического оборудования, с оптимизацией теплотехнических процессов в установках и теплотехнологических комплексах.

Основные разделы

1. Фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики

Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопроцессы. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопроцессов. Второй закон термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы и их применение в термодинамических расчетах. Водяной пар. P – V , T – S , H – S диаграммы и таблицы. Их применение в термодинамических расчетах. Влажный воздух. H – D диаграммы. Циклы Карно, Ренкина. Циклы двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. Термодинамика потока. Скорость звука. Сопло Лавала. Истечение водяного пара. Дросселирование.

Конвективный тепло- и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Законы Ньютона, Фурье и Фика. Основы теории пограничного слоя.

Автомодельные решения уравнений ламинарного слоя. Особенности расчета тепло- и массообмена при турбулентном течении жидкости. Влияние на тепло- и массообмен вдува и отсоса вещества. Решения для ламинарного слоя и турбулентный слой. Трение и теплообмен при массообмене на поверхности тел. Внутренние задачи тепло- и массопереноса. Трение и теплообмен при ламинарном и турбулентном течениях в трубах.

Тепло- и массообмен при фазовых превращениях. Соотношение Герца—Кнудсена для потока массы при фазовом переходе первого рода. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Критический радиус пузырька. Кривая кипения для неограниченного объема. Кипение внутри труб. Особенности двухфазного потока и теплообмена. Влияние давления на процесс кипения. Конденсация пленочная и капельная. Конденсация паров из смеси с инертными газами. Тепло- и массообмен при испарении жидкости в парогазовую среду. Тепло- и массообмен в процессах сублимации: с открытой поверхности, из пористой металлокерамики. Диффузия жидкости в газовые среды и перенос массы в капиллярно-пористых телах. Дифференциальные уравнения диффузии. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции. Контактный теплообмен. Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана—Больцмана. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах. Собственное интегральное излучение твердых тел. Спектр излучения твердых тел. Поглощательная и излучательная способности тела. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.

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. Концентрационные границы самовоспламенения и зажигания. Самовоспламенение твердого топлива. Нормальное горение. Турбулентное распространение пламени в газовых смесях.

Механизм и кинетика горения индивидуальных газов. Механизм термического разложения углеводородов. Диффузионный, кинетический и смешанный принципы сжигания. Устойчивость горения газового факела. Методы интенсификации сжигания газов. Основные реакции горения и газификации углерода. Термическое разложение натуральных топлив. Роль летучих и золы в процессах горения. Особенность горения угольной пыли. Горение и газификация угля в неподвижном слое. Пути интенсификации

горения твердого топлива. Воспламенение и механизм горения жидкого топлива. Горение распыленного топлива в факеле. Интенсификация процессов горения.

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 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. Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями. Использование математического моделирования, пакетов прикладных программ, банков данных для расчета систем теплоснабжения.

3. Котельные установки и парогенераторы

Источники теплоты промышленных котельных установок. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах. Расчет топочных устройств для сжигания газового, жидкого и твердого топлив, производственных отходов. Основы методики расчета простых и сложных контуров циркуляции. 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 пароводогрейные котлы. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями. Котлы, использующие теплоту технологического продукта. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей. Определение основных характеристик работы котельного агрегата по результатам испытаний.

4. Тепломассообменное оборудование предприятий

Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смесительные теплообменники. Тепловой, гидравлический, прочностной расчеты рекуперативных теплообменников. Деаэраторы. Основы расчета. Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки. Тепловые схемы и установки. 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. Принцип действия и основы расчета абсорбционных и адсорбционных аппаратов. Сушильные установки. Понятие и процессы сушки. Формы связи влаги с материалом. Основы кинетики и динамики сушки. Тепловой баланс конвективной сушильной установки. Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты вентиляционных выбросов, отработанного сушильного агента, низкопотенциальных вторичных энергоресурсов. Основы расчета и подбора стандартного оборудования.

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. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Анализ потерь в характерных сечениях турбины. Работа турбинной ступени в переменном режиме. 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. 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. Определение расчетной нагрузки для проектирования компрессорной станции. Методика определения потребности в воде на технологические и противопожарные нужды предприятия. Прямоточные, оборотные и бессточные системы технического водоснабжения. Расчет системы газоснабжения. Газовый баланс предприятия. Определение расчетной потребности в газе. Природные искусственные и отходящие горючие газы. Проблемы очистки, аккумулирование, использование избыточного давления. Проблемы защиты окружающей среды. Системы холодоснабжения. Методика определения потребности в холоде. Системы обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха. Схемы потребителей технического и технологического кислорода, азота, аргона и других продуктов разделения. Методы расчета технологических схем станций разделения.

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. Оптимизация балансов в целях повышения технологической эффективности производства, экономии энергетических и материальных ресурсов, защиты окружающей среды.

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.

Физическое и математическое моделирование теплотехнических процессов в теплотехнологии. Автоматизированные системы научных исследований.

Вопросы

1. Системы теплоснабжения промпредприятий. Их классификация, структура и основные элементы.
2. Виды тепловых нагрузок и их расчет. Режимы и графики теплопотребления. Теплоносители и их параметры
3. Основные схемы отпуска тепла на ТЭЦ. Выбор оптимального значения коэффициента теплофикации. Выбор типа и количества основного оборудования ТЭЦ
4. Классификация и характеристики паровых турбин. Назначение и области использования теплофикационных установок и их эффективность
5. Взаимосвязь режимов тепловой сети и теплофикационных турбин
6. Котельные установки. Классификация и области использования котлоагрегатов
7. Топочные устройства. Их классификация.
8. Теплообменные аппараты. Классификация, схемы, конструкции.
9. Энтропийный метод определения энергетических и технико-экономических показателей ТЭЦ.
10. Паровые системы теплоснабжения: схемы, состав и режимы работы
11. Преимущества и недостатки водяных и паровых систем теплоснабжения.
12. Методы регулирования отпуска тепла из систем централизованного теплоснабжения. Графики температур и расхода теплоносителя
13. Рассеивание вредных выбросов в атмосфере. Классификация и конструкции дымовых труб.
14. Золоуловители: принцип действия, конструкции.
15. Сточные воды теплоэнергетических установок, методы их очистки.
16. Энергетическое использование твердых бытовых отходов.
17. Виды энергоаудита и их особенности.
18. Энергосбережение в сушильных установках
19. Применение теплообменников-утилизаторов в системах вентиляции и кондиционирования
20. Применение тепловых насосов для энергосбережения
21. Применения оросительных теплообменников для утилизации теплоты уходящих газов
22. Выбор оптимальной толщины изоляции трубопроводов
23. Эффективность гелиосистем
24. Общие принципы энергосбережения в зданиях и сооружениях

25. Эксергетический метод определения энергетических и технико-экономических показателей ТЭЦ
26. Мусоросжигающие электростанции: технологические схемы, оборудование, экологические характеристики, экономика
27. Энергетические установки, работающие на низкокипящем теплоносителе.
28. Энтропийный метод определения энергетических и технико-экономических показателей ТЭЦ
29. Производственный экологический контроль на примере пылеугольной ТЭЦ
30. Способы энергосбережения в ректификационных установках

Литература

1. Стерман Л. С. Тепловые и атомные электрические станции : Учебник для ву-зов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. — Изд. 4-е, перераб. и доп. — М.: Изд. дом МЭИ, 2008. — 463 с.
2. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В. Д. Буров [и др.]; под ред. В. М. Лавыгина, А. С. Седлова, С. В. Цанева. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Изд. дом МЭИ, 2007. — 464 с.
3. Амосов Н.Т. Теплофикация и теплоснабжение: Учебное пособие. — СПб.: Издательство политехнического университета, 2010. — 236 с.
4. Тепловые электрические станции: учебник для Вузов, Буров В.Д., Дорохов Е.В., Елизаров Д.П. и др.; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В.Цанева. — 3-е изд. стереотип., Издательский дом МЭИ, 2009, 466 - с.
5. Костюк Р. И. Тепловые и атомные электрические станции: Проектные реше-ния и режимные характеристики ТЭЦ с парогазовыми установками утилизац-онного типа (на примере Северо-Западной ТЭЦ): Учеб. пособие / Р. И. Костюк, А. Н. Блинов, В. М. Корень; под ред. Р. И. Костюка. — СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2005. — 172 с.
6. Бойко Е.А. Тепловые электрические станции: Паротурбинные установки ТЭС: Справ. пособие/Бойко Е.А., Баженов К.В., Грачев П.А. — Красноярск: ИПЦКГЕУ, 2006. — 152 с.
7. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростан-ций: Учеб. Пособие для Вузов/ Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.; под ред. Цанева С.В. — М.: Издательство МЭИ, 2002.- 584 с.
8. Соколов Е. Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. — М. : Издательство МЭИ, 2001.
9. Тихомиров А. К. Теплоснабжение района города: учеб. пособие / А. К. Тихомиров. — Хабаровск : Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2006. Сергеев В.В., Калютник А.А., Моршин В.Н. и др. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Проектирование и расчет газогенераторных установок при использовании биомассы. Учебное пособие /СПб., Изд-во Политехнич. ун-та, 2004, - 60 с.
10. Воронов В.Н., Сенина В.А. и др. Химико-технологические режимы АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами /М.: Изд. «Дом МЭИ», 2006,- 390 с.
11. Боровков В.М., Аль-Алавин А. Эффективность применения тепловых насосов на тепловых электростанциях с парогазовыми установками. Учебное пособие /СПб.: Изд.-во Политехнич. ун-та, 2008, - 265 с.
12. Мошкарин А.В., Девочкин М.А., Шельгин Б.Л. и др. Анализ направлений развития отечественной энергетики /Иван. гос. энерг. ун-т, Иваново, 2002, - 256 с.
13. Сергеев В.В. Теплоэнергетические основы промышленной слоевой газификации растительной массы /Автореф. докт. техн. наук, СПб.: 2009, - 32 с.
14. Киселев В.Г. Теплофикация и теплоснабжение. Защита от коррозии. Учебное пособие /СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2009, - 62 с.
15. Амосов Н.Т. Теплофикация и теплоснабжение. Учебное пособие /СПб.: Изд-во

Политехнич. ун-та, 2009, - 230 с.

16. Боровков В.М., Гегоц Л.Б., Воробьев Ю.С. и др. Материалы и прочность оборудования ТЭС /СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008, - 611 с.

17. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV-18. Котельные установки / Ю.А. Рундыгин, Е.Э. Гильде, А.В. Судаков и др.; Под ред. Ю.С. Васильева, Г.П. Поршнева. – М.: Машиностроение, 2009. 400 с.

18. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. М.–Ижевск: РХД, 2004.– 591 с.

19. Теоретические основы теплотехники. Справочник. Под ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина.– М.: МЭИ, 2001.– 564 с.

20. Основы практической теории горения / Под ред. В.В. Померанцева.– Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986.– 312 с.

21. Парогенераторы: Учебник для вузов / Под общ. ред. А. П. Ковалева. М.: Энергоатомиздат, 1985. 376 с.

10. Техника высоких напряжений

Введение

Составлено на основе дисциплин направлений «Электроэнергетика» и «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», связанных с особенностями анализа электрофизических процессов в газах, жидкостях и твердых диэлектриках, синтезом и техническим использованием высоковольтных изоляционных изделий, конструированием испытательных установок высокого напряжения.

Основные разделы

1. Теория электрических разрядов

Элементарные процессы в газах. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Движение заряженных частиц в газе при наличии электрического поля. Возбуждение и ионизация атомов и молекул. Сечение столкновения, длина пробега. Термическая ионизация. Фотоионизация. Ударная ионизация. Образование и развал отрицательных ионов. Рекомбинация. Диффузия.

Основы физики плазмы. Квазинейтральность. Дебаевский радиус. Равновесная и неравновесная плазма. Электропроводность плазмы.

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Коэффициент Таунсенда. Условие самостоятельности разряда. Разряд в однородном поле. Законы Пашена и подобия. Разряд в сильно неоднородном поле. Лавинная, стримерная, лидерная формы разряда. Развитие разряда в длинных воздушных промежутках. Зависимость пробивного напряжения от типа воздействующего напряжения, длины промежутка, степени неоднородности электрического поля, параметров окружающей среды. Разброс пробивных напряжений.

Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальные напряженность и напряжение. Распределение поля при униполярном коронном разряде. Потери на корону при переменном напряжении.

Развитие разряда при импульсных напряжениях. Время разряда. Вольт-секундные характеристики.

Разряд в газе по поверхности твердого диэлектрика. Влияние расположения диэлектрика в промежутке. Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязненной и увлажненной поверхности.

Разряд в газе при повышенном и пониженном давлениях. Высокопрочные и электроотрицательные газы. Механизм вакуумного пробоя.

Проводимость жидких диэлектриков в электрическом поле. Подвижность носителей зарядов. Диссоциация, эмиссия электронов. Ток проводимости.

Предразрядные процессы и пробой жидкости. Влияние примесей, материала электродов, температуры и давления. Развитие импульсного разряда в жидкости.

Проводимость твердых диэлектриков. Ионная и электронная проводимость. Процессы эмиссии носителей зарядов.

Формы пробоя твердых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида воздействующего напряжения, длительности воздействия напряжения. Тепловой пробой твердых диэлектриков. Скользящий разряд по поверхности твердых диэлектриков в жидкости.

2. Грозовые перенапряжения и защита от них

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

Физическая картина разряда молнии. Характеристики разрядов молнии. Интенсивность грозовой деятельности.

Грозозащитные заземления. Стационарное и импульсное сопротивления заземлителей.

Молниезащита линий электропередачи. Методика определения удельного числа отключений линий в связи с ударами молнии. Удар молнии в линию без тросов. Удар молнии в линию,

оснащенную тросами. Основные принципы молниезащиты воздушных линий.

Защита подстанций от прямых ударов молний. Зоны защиты молниеотводов.

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

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

3. Внутренние перенапряжения в электрических системах и их ограничения

Основные виды коммутационных перенапряжений и средства по их ограничению.

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

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

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

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

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

Феррорезонансные перенапряжения.

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

4. Изоляционные конструкции высокого напряжения

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

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

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

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

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

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

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

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

Основы конструирования внутренней изоляции. Характерные формы электрических полей в

изоляционных конструкциях и методы их регулирования. Краевой эффект.

Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью.

Полупроводящие покрытия, применение экранов.

Основы теплового расчета изоляционных конструкций. Тепловой пробой.

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

Конструкция и расчет проходных изоляторов. Изоляция трансформаторов тока и напряжения. Изоляция силовых конденсаторов. Кратковременная и длительная электрическая прочность конденсаторной изоляции.

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

Изоляция силовых кабелей. Кабели с вязкой пропиткой. Маслонаполненные кабели.

Конструкции соединительных и концевых муфт. Кабели с пластмассовой изоляцией. Кабели постоянного тока и импульсные.

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

5. Эксплуатация и испытания изоляции установок высокого напряжения

Методы испытания изоляционных конструкций повышенным напряжением промышленной частоты и импульсами.

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

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

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

Неэлектрические методы контроля состояния изоляции. Анализ качества минерального масла.

Хроматографический анализ газов. Ультразвуковая дефектоскопия. Тепловизионный контроль.

Дефектоскопия линейной изоляции.

Организация диагностики изоляции во время эксплуатации.

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

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

Измерение высоких напряжений. Электростатические вольтметры, шаровые разрядники. Делители напряжения.

Устройства для измерения напряженности электрического поля.

6. Применение высоких напряжений в технологии

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

Электрогидродинамические и магнитно-импульсные технологии.

Вопросы

1. Типы изоляции. Конфигурация электрических полей. Ионизационные процессы в газе.
2. Виды ионизации. Электронная лавина.
3. Самостоятельные и несамостоятельные разряды. Стример.
4. Закон Пашена. Разряд в неоднородных полях.
5. Эффект полярности.
6. Барьерный эффект.
7. Влияние времени приложения напряжения на электрическую прочность газовой изоляции.
8. Разряд в газе по поверхности изоляторов.
9. Разряд в газе вдоль проводящей и загрязненной поверхности.
10. Назначение, типы и характеристики изоляторов.
11. Линейные изоляторы.
12. Распределение напряжения вдоль гирлянды изоляторов. Борьба с коронным разрядом на проводах.
13. Стержневые изоляторы. Штыревые изоляторы.
14. Пробой жидких диэлектриков. Пробой твердых диэлектриков.
15. Частичные разряды.
16. Типы внутренней изоляции. Проходные изоляторы.
17. Высоковольтные конденсаторы. Изоляция трансформаторов.
18. Общие характеристики высоковольтных кабелей. Высоковольтные испытательные трансформаторы и каскады.
19. Кабели с бумажно-масляной изоляцией (до 35 кВ). Кабели с полимерной изоляцией. Маслонаполненные кабели.
20. Испытательные установки высокого переменного напряжения.
21. Испытательные установки высокого постоянного напряжения.
22. Генераторы коммутационных импульсов. Измерение высоких постоянных напряжений.
23. Генераторы импульсных напряжений.
24. Измерение высоких переменных напряжений. Измерение высоких импульсных напряжений.
25. Общая характеристика перенапряжений. Характеристики грозовой деятельности и параметры молний.
26. Общая характеристика защитных мероприятий. Перенапряжения прямого удара молнии. Индуктированные перенапряжения.
27. Распространение волн перенапряжений вдоль проводов. Перенапряжения на оборудовании, подключенном к линии.
28. Импульсные процессы в обмотках трансформаторов.
29. Резонансное смещение нейтрали в сетях 3–35 кВ. Ёмкостный эффект линий электропередачи.
30. Коммутационные перенапряжения.

Литература

1. Техника высоких напряжений / Под ред. Г. С. Кучинского. – СПб.: Энергоатомиздат, СПбО, 2003
2. Гиндулин Ф. Х., Гольдштейн В. Г., Дульзон А. А., Халилов Ф. Х. Перенапряжения в сетях 6–35 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1986
3. Кучинский Г.С., Кизеветтер В.Е., Пинталь Ю.С. Изоляция установок высокого напряжения. Учеб. для вузов / М.: Энергоатомиздат, 1987
4. Электрофизические основы техники высоких напряжений: Учеб. для вузов / И.М. Бортник, И.П. Верещагин, Ю.Н. Вершинин и др.; Под ред. И.П. Верещагина, В.П. Ларионова. М.: Энергоатомиздат, 1993.
5. Александров Г.Н., Ершевич В.В., Крылов С.В. и др. Проектирование линий

- электропередачи сверхвысокого напряжения, Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 368 с.
6. Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды: Учеб. пособие для вузов. Л.: Энергоатомиздат, 1989.

11. Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты

Введение

Составлено на основе дисциплин направления «Теплоэнергетика» и «Энергомашиностроение», связанных с особенностями анализа режимных параметров тепловых электрических станций, синтезом их силового и вспомогательного оборудования, с проблемами оптимизации технологических процессов и режимов эксплуатации тепловых станций.

Основные разделы

1. Энергетические ресурсы, типы электростанций и технико-экономические показатели их работы

Энергетические ресурсы. Графики электрической и тепловых нагрузок. Потребители тепла и электроэнергии. Основные технико-экономические показатели производства электроэнергии и тепла. Капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Годовые энергетические показатели КЭС и ТЭЦ. Расход электроэнергии на собственные нужды. Перспективы развития теплоэнергетики.

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. 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. Котельные установки

Типы и классификация котлов. Тракты и основные элементы котла. Виды компоновок котла. Тепловая схема котла и ее опорные точки. Топка котла, ее назначение и тепловые характеристики. Классификация топочных устройств. Подготовка топлива к сжиганию. Системы пылеприготовления, размольные устройства. Схемы тепловой и аэродинамической организации сжигания топлива. Принципиальные пути обеспечения бесшлаковой работы топки и методы снижения образования в ней токсичных продуктов сгорания. Теплообмен в топке и конвективных поверхностях нагрева. Тепловой расчет паровых котлов и их элементов. Гидродинамика трубных систем с принудительным движением среды и систем с естественной циркуляцией среды. Причины загрязнения пара и методы борьбы с ним. Способы получения чистого пара. Загрязнение, коррозия и эрозия поверхностей нагрева и методы борьбы с ними. Способы поддержания температуры перегретого пара. Конструкции современных котлов и тенденции их развития. Работа котла при переходных режимах. Регулировочные характеристики пароперегревателей. Экономичность работы котла. Отложения солей по тракту котельного агрегата и их удаление.

4. Паротурбинные установки электростанций

Параметры паротурбинных установок, их влияние на экономичность. 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. Принципиальные тепловые схемы ТЭС и энергоблоков, методы повышения экономичности

паротурбинных электростанций

Методы расчета тепловых схем и исследование их эффективности. Полные тепловые схемы электростанций, выбор основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Факторы, влияющие на выбор начальных и конечных параметров. Выбор оптимального распределения регенеративного подогрева воды по ступеням на КЭС и ТЭЦ без промперегрева и с промперегревом пара при последовательном и параллельном включениях пароохладителей. Экономически наиболее выгодная температура питательной воды. Трубопроводы тепловых электростанций и их классификация. Прочностные расчеты трубопроводов. Температурные напряжения в трубопроводах. Ползучесть и длительная прочность паропроводов. 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. Тепловое потребление и классификация тепловой нагрузки. 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

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.

9. Компонировка 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. Градири 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. Расчет золошлакопроводов и выбор скорости пульпы.

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. Дымовые трубы и рассеивание вредностей в атмосферу. Предельно допустимые концентрации выбросов и расчет высоты дымовых труб. Выбор скоростей газов в дымовых трубах. Многоствольные дымовые трубы.

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.

Вопросы

1. Нормативные характеристики турбоагрегата.
2. Методы распределения тепловой нагрузки на регенеративные подогреватели питательной воды
3. Маневренные характеристики современных ПГУ блоков, влияние на надежность режима работы
4. Питательный насос – основные способы регулирования, оптимальный вид привода.
5. Структура главного корпуса
6. Коэффициент теплофикации. Каково его значение и примеры величины на ТЭЦ
7. Применение вторичного сырья в энергетике.
8. Геофизический, биологический, климатический мониторинг окружающей среды. Объекты и способы исследования.
9. Производственный экологический контроль на примере пылеугольной ТЭЦ.
10. Компенсация температурных деформаций трубопроводов теплоснабжения
11. Преимущество и недостатки совместной выработки тепла и электрической энергии.
12. Схемы отбора тепловой мощности на промышленных ТЭЦ.
13. Сравнение пароконденсационных и абсорбционных тепловых насосов.
14. Аварийные режимы: опрокидывание циркуляции котлов, пережог экранных труб
15. Выбор оптимального состава генерирующего оборудования при различном составе оборудования блоков.
16. Методы прокладки тепловых сетей. Расчет температурных расширений.
17. Аккумуляторы тепла.

18. Основные расчетные зависимости для гидравлического расчета тепловых сетей
19. Режимы работы ступеней нагрева сетевой воды
20. Водоподготовка: Методы обработки, позволяющие уменьшить жесткость и щелочность
21. Основные принципы проектирования тепловых сетей. Типы структуры тепловой сети
22. Вентиляционный пропуск пара. Влияние дросселирования диафрагмой на температуру в ЦНД.
23. Принципы выбора количества турбин и парогенераторов на теплоэлектроцентралях
24. Экономия топлива за счет использования тепловых насосов для теплоснабжения
25. Зависимость КПД ПГУ от наружной температуры воздуха.
26. Технический минимум парового котла, основные физические явления, определяющие его.
27. Линия рециркуляции конденсата, влияние на КПД установки.
28. ЦТП и ИТП для закрытых систем
29. Мини ТЭЦ на базе газопоршневых и микротурбинных установок, преимущества, недостатки.
30. Тепловая схема ТЭЦ. Основные компоненты и их назначение.

Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия. Т.IV-18. Котельные установки / Ю.А. Рундыгин, Е.Э. Гильде, А.В. Судаков и др.; Под ред. Ю.С. Васильева, Г.П. Поршнева. – М.: Машиностроение, 2009. 400 с.
2. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. М.–Ижевск: РХД, 2004.– 591 с.
3. Парогенераторы: Учебник для вузов / Под общ. ред. А. П. Ковалева. М.: Энергоатомиздат, 1985. 376 с.
4. Основы практической теории горения / Под ред. В.В. Померанцева.– Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986.– 312 с.