

**ПРОГРАММА  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
«ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

Научные специальности:

**2.4.2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

**2.4.3. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

**2.4.5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ**

**2.4.6. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

**2.4.7. ТУРБОМАШИНЫ И ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

Программа вступительного испытания по специальной дисциплине, соответствующая научным специальностям – 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы, 2.4.3. Электроэнергетика, 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, 2.4.7. Турбомашины и поршневые двигатели группы научных специальностей 2.4. Энергетика и электротехника, разработана на основании федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования уровней магистратуры и специалитета.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРОГРАММЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ПО  
СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ЭНЕРГЕТИКА И  
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

Основной целью вступительного испытания в аспирантуру по специальной дисциплине является выявление компетенций в различных областях, таких как:

- знание фундаментальных понятий и принципов функционирования электротехнических комплексов и систем;
- знание современных методов обработки, систематизации и интерпретации результатов исследования электротехнических комплексов на математических и физических моделях;
- знание энергосберегающих методов производства, распределения и потребления электроэнергии в электротехнических комплексах;
- знание основных закономерностей и методов исследования энергетических и динамических процессов в электротехнических комплексах с учётом специфики характеристик машин и механизмов;
- знание основных закономерностей и методов исследования процессов тепломассобмена, горения топлива и промышленной энергетики;
- знание основных закономерностей и методов исследования

энергетических и рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания;

- знание основных видов стендовых и эксплуатационных испытаний двигателей внутреннего сгорания.

## **РАЗДЕЛЫ, РАССМАТРИВАЕМЫЕ В ХОДЕ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

### **РАЗДЕЛ 1. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

#### **1.1. Введение**

Назначение, основные типы электротехнических комплексов и систем для обеспечения производственных технологических процессов. Основные технические требования по статике и динамике механических и электро-магнитных процессов в электрооборудовании и электромеханических комплексах. Понятия и требования по обеспечению электробезопасности, электромагнитной и электромеханической совместимости.

#### **1.2. Электроснабжение и энергоэффективность электромеханических комплексов и систем**

Требования и ряды напряжений питания электротехнических комплексов. Системы электроснабжения, структуры, состав. Защиты в системах электроснабжения. Требования и нормы по сопротивлению изоляции, системам заземления. Основы электромагнитной совместимости в сетях с нелинейными нагрузками. Методы обеспечения электромагнитной совместимости. Пассивные и активные фильтры.

#### **1.3. Механические переходные процессы и механические характеристики электроприводов**

Уравнения динамики механических процессов привода. Моменты инерции. Приведение моментов и моментов инерции к валу двигателя. Основные типы статических нагрузок механизмов. Механические характеристики типовых механизмов.

#### **1.4. Состав и структура электроприводов с различными типами электродвигателей**

Электроприводы постоянного тока. Асинхронные электроприводы. Синхронные электроприводы. Электроприводы с использованием специальных двигателей (вентильно-индукторные, шаговые). Методы регулирования частоты вращения, механические характеристики электроприводов.

#### **1.5. Методы, структуры и алгоритмы управления электроприводами**

Алгоритмы логического управления. Дискретные системы логического программного управления. Алгоритмы оптимального управления координатами электропривода. Модальное управление. Синтез оптимальных регуляторов. Структуры подчиненного регулирования. Технические средства реализации систем управления.

#### **1.6. Особенности и законы управления электроприводами переменного**

## **тока**

Асинхронный электропривод. Законы частотного управления. Механические характеристики. Скалярное и векторное управление асинхронным приводом. Принципы преобразования координат и структура векторного управления. Электроприводы с синхронными двигателями. Пуск и регулирование частоты вращения синхронных двигателей. Энергетические характеристики регулируемых электроприводов.

### **1.7. Силовая электроника и полупроводниковые коммутаторы**

Управляющие элементы силовой электроники. Типы и характеристики полупроводниковых преобразователей. Управляемые выпрямители. Активные выпрямители. Преобразователи частоты. Системы управления полупроводниковыми коммутаторами. Формирование формы кривой напряжения на выходе коммутатора.

### **1.8. Системы автоматического управления и алгоритмы САУ электромеханическими комплексами**

Математическое описание и синтез САУ для линеаризованных объектов управления. Дискретные САУ. Разностные уравнения. Синтез алгоритмов управления дискретными системами. Требования к быстродействию вычислительных управляющих устройств.

### **1.9. Аппаратные средства реализации систем управления**

Релейно-контакторные системы. Аналоговые САУ. Микропроцессорные средства реализации алгоритмов САУ. Особенности и программное обеспечение.

### **1.10. Методы математического моделирования электротехнических комплексов и систем**

Управление процессами в обобщенной электрической машине. Математическое описание электромеханических систем с полупроводниковыми коммутаторами. Принципы и методы анализа процессов в электротехнических комплексах с использованием программных средств.

### **1.11. Электромеханическая совместимость в электротехнических комплексах, включающих электроприводы с полупроводниковыми коммутаторами**

Понятие электромеханической совместимости. Влияние полупроводниковых преобразователей на характеристики двигателей. Технические и алгоритмические средства обеспечения электромеханической совместимости.

### **1.12. Энергосбережение и энергоэффективность электротехнических комплексов и систем**

Рациональные схемы электроснабжения и распределения электроэнергии. Оценка и средства повышения коэффициента мощности и коэффициента нелинейных искажений. Энергосбережение средствами электропривода. Оценка эффекта энергосбережения для комплексов турбомеханизмов.

### **1.13. Особенности структуры, состава и алгоритмов управления для машин и механизмов горной промышленности**

Требование к электроприводам экскаваторов, подъёмных машин, буровых объектов, комбайнов. Рациональные структуры и алгоритмы энергоэффективного управления электротехническими комплексами.

### **1.14. Особенности структуры, состава и алгоритмов управления для**

## **машин и механизмов нефтегазовой промышленности**

Требование к электротехническим комплексам буровых установок, насосов, газонагнетателей, технических средств освоения шельфа. Рациональные структуры и алгоритмы энергоэффективного управления электротехническими комплексами.

## **РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К РАЗДЕЛУ**

### **Основная литература**

1. М.П.Белов, О.И. Зементов, А.Е. Козярук и др., Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации. М.: Академия, 2006 г.
2. Н.Ф. Ильинский, Основы электропривода. М.: Издательство МЭИ, 2000 г.
3. Анучин А.С. Системы управления электроприводов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / А.С. Анучин. - 19 Мб. - М. : МЭИ, 2015.
4. И.Я. Брославский, Э.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков, Энергосберегающий асинхронный электропривод. М.: Академия, 2004 г.
5. Б.Г. Меньшов, М.С. Ершов, А.Д. Яризов, Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 2000 г.

### **Дополнительная литература**

1. Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик, Регулируемые электроприводы переменного тока. Минск. ЗАО «Техноперспектива», 2006 г.
2. А.В. Ляхомский, В.Н. Фащиленко, Управление электромеханическими системами горных машин. М.: МГГУ, 2004 г.
3. Энергосбережение и автоматизация электрооборудования компрессорных станций. ОАО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, 2010г.
4. А.Е. Козярук, В.В. Рудаков, Прямое управление моментом в электроприводе переменного тока машин и механизмов горного производства. СПб: СПГГМ, 2008 г.
5. Бирюков, В. В. Автоматизированный тяговый электропривод: учебник / В. В. Бирюков. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 323 с.

## **РАЗДЕЛ 2. Электроэнергетика**

### **2.1. 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.

### **2.2. 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.

### **2.3. 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.

## **2.4. Электроэнергетические системы и сети**

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

Модели оптимального развития энергосистем. Системный подход. Общий критерий оптимального развития. Виды представления информации. Иерархическое построение энергосистем. Основные типы задач развития энергосистем. Методы прогнозирования их развития. Особенности оптимизации структуры энергосистемы при ее проектировании и развитии (структура и размещение электростанций, структура электрических сетей).

Методы оптимизации развития и функционирования энергосистем: линейное и нелинейное математическое программирование, транспортный и симплексный алгоритмы, динамическое программирование, метод границ и ветвей, градиентный метод, метод штрафных функций, критериальный анализ технико-экономических задач энергетики. Электрические станции, электрические сети, потребители электроэнергии как элементы энергосистем. Методы определения расчетных электрических нагрузок промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства.

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

Режимы заземления нейтралей в сетях различного напряжения. Характеристики и параметры элементов электрической сети.

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

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

Проектирования электрических сетей, выбор их основных параметров при проектировании. Особенности расчетов электрических режимов протяженных электропередач переменного и постоянного тока. Электрические параметры протяженных линий электропередачи. Расчет режимов дальней электропередачи. Пути, методы и средства увеличения пропускной способности и экономичности работы дальних электропередач. Особые режимы электропередачи переменного и постоянного тока.

## **2.5. 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.

## **2.6. 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.

## **2.7. 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **2.9. 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.

## **2.10. Теория электрических разрядов**

Элементарные процессы в газах. Автоэлектронная и фотоэлектронная эмиссия. Возбуждение и ионизация атомов и молекул. Термическая ионизация. Фотоионизация. Ударная ионизация. Рекомбинация.

Основы физики плазмы. Электропроводность плазмы.

Развитие электрического разряда в газах. Лавина электронов. Условие самостоятельности разряда. Разряд в однородном поле. Законы Пашёна и подобия. 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.

Коронный разряд при различных видах воздействующего напряжения. Начальные напряжённость и напряжение. Потери на корону при переменном напряжении.

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

Стримерный и скользящий разряды по поверхности диэлектрика. Разряд по загрязнённой и увлажнённой поверхности.

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

Проводимость жидких диэлектриков в электрическом поле.

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

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

Формы пробоя твёрдых диэлектриков. Влияние формы и размеров электродов, вида воздействующего напряжения, длительности воздействия напряжения. Тепловой пробой твёрдых диэлектриков.

## **2.11. Грозовые перенапряжения и защита от них**

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

Грозозащитные заземления. Стационарное и импульсное сопротивление 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, оснащённую тросами. Основные принципы молниезащиты воздушных линий.

Защита подстанций от прямых ударов молний. Зоны защиты молниеотводов.

Защита оборудования подстанций от набегающих волн атмосферных перенапряжений. Средства защиты и допустимое число отключений в год.

Волновые процессы в обмотках трансформаторов, автотрансформаторов и реакторов.

Молниезащита трансформаторов и вращающихся машин.

## **2.12. 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 перенапряжений.

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

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

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 подключённых 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.

## **2.13. Изоляционные конструкции высокого напряжения**

Координация изоляции устройств высокого напряжения.

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 расщеплённых проводов. Разрядные характеристики типовых воздушных промежутков с учётом влияющих факторов. Методика выбора воздушных промежутков. Внешняя изоляция распределительных устройств. Методика выбора и способы повышения надёжности работы изоляции.

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. Тепловое старение и окисление изоляции. Зависимость электрической прочности изоляции от увлажнения.

Ресурс изоляции. Обобщённые зависимости срока службы от

напряжённости и температуры, влияние интенсивности частичных разрядов.

Основы конструирования внутренней изоляции. Краевой эффект. Применение комбинированных диэлектриков с различной диэлектрической проницаемостью. Полупроводящие покрытия, применение экранов.

Основы теплового расчёта изоляционных конструкций. Тепловой пробой.

Изоляция силовых трансформаторов. Кратковременная электрическая прочность маслосодержащей изоляции.

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

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

Элегазовые изоляционные конструкции электрооборудования энергосистем.

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

Изоляция электрических машин. Кратковременная и длительная прочность изоляции.

## **2.14. 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.

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.

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.

## **2.15. Применение высоких напряжений в технологии**

Направления применения высоких напряжений в технологических процессах. Технологические процессы, основанные на силовом действии электрических полей на материалы. Очистка газов от частиц в электрофильтрах. Нанесение покрытий в электрическом поле.

Электросепарация. Нейтрализация зарядов статического электричества. Обезвоживание нефтепродуктов.

Электрогидродинамические и магнитно-импульсные технологии. Проблемы межсистемных и межгосударственных связей в больших ЭЭС.

### Список рекомендуемой литературы к разделу 2

1. Ульянов С.А., Электромагнитные переходные процессы в электрических системах, «Энергия», 1970.
2. Евдокунин Г.А. Электрические системы и сети, СГ16.: СПГПУ, 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 Политехи, ун-та, 20029. - 412 с.
5. Беляев А.Н., Першиков Г.А., Попков Е.Н., Смоловик С.В., Чудный В.С. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. СПб.: СПбГПУ, 2012. 149 с.
6. Беляев А.Н., Першиков Г.А., Попков Е.Н., Смоловик С.В., Чудный В.С. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 157 с.
7. Юревич Е.И. 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. Околовит 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.
12. Юрганов А.А., Кожевников В.А. Регулирование возбуждения синхронных генераторов. СПб.: Наука, 1996. 138 с.
13. Левинштейн М.Л., Щербачев О.В. Статическая устойчивость электрических систем. Учебное пособие. СПб.: СПбГТУ, 1994. 264 с.
14. Техника высоких напряжений: уч. пособие /Ю.Н.Бочаров [и др.]. – СПб: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. -335с.
15. Электрофизические основы техники высоких напряжений/ под. Ред. И.П.Верещагина, 2-е изд. М.: Издательский дом МЭИ, 2010, 703 стр.
16. Техника высоких напряжений/ под ред. Г.С.Кучинского, Санкт-Петербург, Энергоатомиздат, 203, 606 с.
17. Руководство по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений РД 153-34.3-35.125-99, Санкт Петербург, Издательство ПЭИПК, 1999, 353 с.

## РАЗДЕЛ 3 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

### 1. Техническая термодинамика, гидрогазодинамика, тепломассообмен

Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопроцессы. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопроцессов. Второй закон термодинамики. Энтродия. 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 Лаваля. 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. Решения для ламинарного слоя и турбулентный слой. Трение и теплообмен при ламинарном и турбулентном течениях в трубах. Методы интенсификации конвективного теплообмена. Использование для интенсификации конвективного теплообмена закрученных потоков.

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. 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. Дифференциальные уравнения диффузии. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции.

Контактный теплообмен. Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана-Больцмана. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах. Поглощательная и излучательная способности тела. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.

Процессы смесеобразования. Молекулярная и турбулентная диффузия. Аналогия между диффузией и теплообменом.

Процессы воспламенения и распространения пламени. Самовоспламенение и зажигание горючих смесей. Концентрационные границы самовоспламенения и зажигания. Самовоспламенение твердого топлива. Нормальное горение. Турбулентное распространение пламени в газовых смесях. Механизм и кинетика горения 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 тепловой энергии

Природные источники энергии. Системы теплоснабжения промышленных предприятий. Теплофикация. Виды энергопотребления. Классификация тепловой нагрузки. Определение расхода тепла на вентиляцию, отопление, горячее водоснабжение и технологические нужды по укрупненным показателям. Классификация систем теплоснабжения. Водяные и паровые системы. Закрытые и открытые системы. Однотрубные, двухтрубные и многотрубные. Выбор системы теплоснабжения. Выбор воды или пара как теплоносителей. Центральное и местное регулирование паровых и

водяных сетей. Основные методы регулирования отпуска тепла при однородной тепловой нагрузке: качественный, количественный, пропусками. Методы оценки энергетической

эффективности теплофикации. Определение удельной выработки электрической энергии на базе теплового потребления. Определение экономии топлива, получаемой при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии. Тепловой расчет сетей. Техно-экономический расчет систем теплоснабжения и тепловых сетей. Разработка новых и усовершенствование действующих систем теплоснабжения и режимов регулирования отпуска тепла. Промышленные тепловые электростанции. Использование вторичных энергоресурсов. Классификация тепловых электростанций: по виду отпускаемой энергии, рабочему телу в цикле, типу рабочего цикла, типу двигателей. Технологические схемы промышленных станций. Начальные и конечные параметры пара на паротурбинных электростанциях. Влияние начальных параметров пара на тепловую экономичность. Основные схемы отпуска тепла в виде пара: регулируемый отбор, противодавление, РОУ, паропреобразователь, струйный компрессор. Отпуск тепла с горячей водой. Тепловые схемы паротурбинных электростанций. Анализ схем испарительных установок. Методика расчета принципиальной тепловой схемы станции. Газотурбинные и парогазовые электростанции. Основные показатели электрических станций. Режимы работы, собственные нужды и основные вопросы эксплуатации и автоматизации тепловых электростанций. Выбор площадки и компоновка промышленных электростанций. Перспективы развития тепловых электрических станций. Атомные электростанции.

### **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. Пароперегреватели котлов. Методы регулирования температуры пара. Экономайзеры и их включение в питательные магистрали. Конструктивные схемы воздушных подогревателей. Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией. Водогрейные и паро-водогрейные котлы. Котлы, использующие теплоту технологического продукта. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей. Определение основных характеристик работы котельного агрегата по результатам испытаний.

### **4. Промышленное теплообменное оборудование**

Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, циклонные рекуператоры, 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. 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, циклонные нагревательные установки и устройства. Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты вентиляционных выбросов, отработанного сушильного и греющего агента, низкопотенциальных вторичных энергоресурсов. Основы расчета и подбора стандартного оборудования.

### **5. Насосы, компрессоры и вентиляторы**

Место и роль насосов, компрессоров и вентиляторов в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий; классификация нагнетателей; анализ влияния начальных условий, охлаждения и подвода тепла, сжимаемости и типа рабочего тела на работу сжатия и расширения; определение мощности, КПД нагнетателей; классификация и область применения нагнетателей объемного действия; предельная



степень повышения давления в ступени, распределение давления между ступенями, КПД компрессора; схемы поршневых компрессоров; теоретическая характеристика нагнетателя; общая классификация потерь в нагнетателях; учет потерь и переход к действительной характеристике; понятие о рабочей зоне характеристики; условия работы нагнетателя на сеть; классификация вентиляторов; область применения; способы изменения характеристики вентилятора; классификация насосов; особенности работы насосов в сети; центробежные и осевые компрессоры; области применения; основные способы изменения характеристики компрессора; сопоставление показателей и обоснование преимущественных зон применения центробежных и осевых компрессоров.

## **6. Паротурбинные установки и ДВС**

Определение тепловых двигателей, классификация. Циклы паросиловых установок. Принцип действия паровой турбины. Активная турбина. Реактивная турбина, степень реактивности. Треугольники скоростей. Многоступенчатые турбины. Внутренние и внешние потери в турбине. Внутренний относительный КПД ступени. Уплотнения паровых турбин. Схемы уплотнений. Мощность и КПД турбины. Осевое усилие в многоступенчатой турбине. Парораспределение паровых турбин: дроссельное, сопловое, обводное. Турбины для комбинированной выработки энергии. Работа турбин по тепловому и электрическому графику. Турбины с противодавлением. Турбины с одним регулируемым отбором пара. Турбины с двумя регулируемыми отборами пара. Конденсационные устройства. Назначение и принцип действия конденсационного устройства. Воздухоудаляющее устройство – паровой эжектор.

ДВС. Классификация ДВС. Схема устройства и принцип работы 2-х и 4-х - тактного ДВС. Индикаторные диаграммы. Среднее индикаторное давление. Индикаторная и эффективная работа, мощность и КПД ДВС. Тепловой баланс и экономические показатели работы ДВС. Удельный расход натурального топлива в ДВС.

## **7. 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 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.

### **Основная литература:**

1. Тепловые электрические станции [Текст]: учебник / В. Д. Буров [и др.] ; под ред. В. М. Лавыгина, А. С. Седлова, С. В. Цанева. – Москва : МЭИ, 2005. – 454 с.
2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети [Текст]: учебник / Е. Я. Соколов. – 7-е изд., стереотип. – Москва : МЭИ, 2001. – 472 с.

### **Дополнительные источники:**

1. да Роза, Альдо В. Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы [Текст]: учебное пособие / А. да Роза ; пер. с англ.: С. П. Малышенко, О. С. Попеля. - Долгопрудный: Интеллект; Москва: МЭИ, 2010. - 704 с.
2. Апанасов, В. В. Курс лекций по теории электрических цепей [Текст]: учебное пособие / В. В. Апанасов ; Арх. гос. техн. ун-т. – Архангельск: АГТУ, 2006. – 312 с.
3. Аполлонский, С. М. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное

поле

[Текст]: учебное пособие / С. М. Аполлонский. – Санкт-Петербург : Лань ; Москва : [б. и.]; Краснодар : [б. и.], 2012. – 587 с.

4. Теплотехника [Текст]: учебник / А. П. Баскаков [и др.] / ред. А. П. Баскаков. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: БАСТЕТ, 2010. – 328 с.

#### **Справочная литература:**

1. Энергетик [Электронный ресурс]: ежемесячный иллюстрированный научно-технический журнал. – Электрон. дан. – Москва : ЗАО НТФ «Энергопрогресс». – Режим доступа: [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=8299](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=8299), доступ из НЭБ «eLIBRARY.RU». – Загл. с экрана.

2. Новости ЭлектроТехники[Электронный ресурс]: иллюстрированный научно-технический журнал. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург : Новости Электротехники. – Режим доступа : [https://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=9820](https://elibrary.ru/title_about.asp?id=9820), доступ из НЭБ «eLIBRARY.RU». – Загл. с экрана.

## **РАЗДЕЛ 4 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРИКЛАДНАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА**

### **4.1. Техническая термодинамика**

#### **4.1.1. Уравнения состояния газа. Первый закон термодинамики**

Термодинамическая система и ее взаимодействие с окружающей средой. Параметры состояния. Равновесное и неравновесное состояние. Законы идеальных газов. Изопараметрические термодинамические процессы. Газы и газовые смеси, уравнение состояния Клапейрона-Менделеева. Теплоемкость, зависимость теплоемкости от температуры и термодинамического процесса. Теплоемкость смеси газов. Работа, теплота, внутренняя энергия. Первый закон термодинамики. Энтальпия. Энтропия.  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  диаграммы.

#### **4.1.2. Второй закон термодинамики**

Термодинамические циклы. Второй закон термодинамики. Теорема Карно. Прямой и обратный термодинамические циклы. Термический КПД. Эксергия, теорема Гюй-Стодолы. Эксергия теплоты и потока, эксергетический КПД.

#### **4.1.3. Реальные газы, водяной пар. Истечение газа и пара через сопла**

Термодинамические свойства реальных газов. Фазовые переходы. Теплота фазовых переходов. Характеристики и процессы водяного пара.  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$  и  $h$ - $s$  диаграммы водяного пара. Процессы в реальных газах и парах. Влажный воздух, параметры влажного воздуха. Уравнение первого закона для потока рабочего тела. Истечение газа и пара через сопла. Дросселирование, эффект Джоуля-Томсона.

#### **4.1.4. Циклы компрессоров и тепловых двигателей. Циклы холодильных машин**

Термодинамический анализ процессов в компрессорах. Теоретическая и индикаторная диаграммы компрессора, их изображение в  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$  координатах. Многоступенчатое сжатие в компрессорах. Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Сравнение термических КПД циклов ДВС. Индикаторная и эффективная мощность двигателя. Удельный, индикаторный и эффективный расходы топлива. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Циклы паротурбинных установок. Циклы ПТУ с промежуточным перегревом и регенеративным подогревом. Термодинамические основы теплофикации. Установки с противодавленческими турбинами и турбинами с регулируемым теплофикационным отбором пара. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки. Принцип работы абсорбционной холодильной установки. Принцип действия теплового насоса.

### **4.2. Теория теплообмена**

#### **4.2.1. Теплопроводность**

Теплопроводность, закон Фурье. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях первого рода для плоской и цилиндрической стенок. Теплопроводность плоской и цилиндрической стенок при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода. Регулирование интенсивности теплопередачи. Критическая толщина изоляции. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты. Нестационарная теплопроводность

#### **4.2.2. Конвективный теплообмен**

Основы теории подобия. Опытное и расчетное определение коэффициента теплоотдачи. Теплоотдача при свободной конвекции. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Теплообмен при кипении и конденсации жидкости.

#### **4.2.3. Теплообмен излучением**

Основные законы теплового излучения. Лучистый теплообмен между твердыми телами, в газовых средах, между газом и стенкой. Экранирование тел. Процессы сложного теплообмена.

#### **4.2.4. Расчеты теплообменных аппаратов**

Типы теплообменных аппаратов. Расчетные зависимости рекуперативных аппаратов. Сравнение прямотока и противотока, учет тепловых потерь. Виды теплового расчета теплообменных аппаратов.

### **4.3. Топливо и теория горения**

#### **4.3.1. Характеристики энергетических топлив**

Виды органических топлив, применяемых в теплоэнергетике. Состав и характеристики твердого, жидкого и газового топлива. Условное топливо и виды искусственных топлив.

#### **4.3.2. Уравнения сгорания и физико-химические основы горения топлива**

Стехиометрические соотношения горения компонентов топлива. Количество воздуха теоретически необходимое для полного сжигания топлива. Коэффициент избытка воздуха. Объемы и состав продуктов сгорания. Уравнения полного и неполного сгорания. Уравнения теплового баланса процесса горения. Тепловые и температурные характеристики продуктов сгорания.

Общая характеристика процесса сгорания. Элементы кинетики реакций горения: параметры смесей и реакций, скорость и теплота реакции, закон Аррениуса и константа равновесия. Цепная теория процесса сгорания. Тепловое самовоспламенение. Возникновение и распространение пламени. Ламинарное, диффузионная и турбулентная зоны горения факела. Стабилизация пламени и процесса сгорания.

#### **4.3.3. Процессы сгорания жидкого, газообразного и твердого топлива**

Процессы распыливания и испарения топлива. Образование рабочей смеси, ее воспламенение и горение. Образование оксидов азота, оксидов углерода, различных углеводородов, сажи, оксидов серы и других соединений. Расчет процесса горения топлива. Материальный и тепловой балансы процесса горения. Способы интенсификации сжигания топлива. Технология газификации твердого топлива.

### **4.4. Промышленная теплоэнергетика.**

#### **4.4.1 Котельные установки.**

Материальный и тепловой балансы котельных установок при сжигании газового, жидкого, твердого топлив. Конструкции, выбор и расчет топочных устройств. Аэродинамические расчеты котельной установки, выбор тягодутьевого оборудования. Тепловые расчеты воздухоподогревателя, экономайзера, пароперегревателя и температурного режима поверхностей

нагрева.

#### **4.4.2 Тепловые двигатели и нагнетатели.**

Передача энергии от нагнетателя к рабочему телу, уравнение Эйлера. Неустойчивость работы центробежных насосов, явление помпажа. Поршневые насосы, принципы действия, индикаторная диаграмма. Теория турбинной ступени.

#### **4.4.3 Теплоснабжение предприятий**

Принципы и схемы теплоснабжения. Централизованное и децентрализованное теплоснабжение. Закрытые и открытые системы теплоснабжения, области использования, достоинства и недостатки. Зависимое и независимое присоединение теплопотребителей к тепловым сетям. Трехтрубные водяные системы теплоснабжения, связь со структурой тепловой нагрузки. Использование аккумуляторов горячей воды в абонентских установках при замкнутых и открытых системах теплоснабжения. Пьезометрический график. Гидравлический и тепловой расчеты теплотрасс. Методы учета и контроля расходы теплоты.

#### **4.4.4 Снижение энергопотерь и вредных выбросов в окружающую среду**

Методы и критерии оценки эффективности использования энергии. Методы энергосбережения при производстве теплоты. Энергосберегающие технологии на промышленных предприятиях. Использование теплоты низкого потенциала тепловыми насосами, детандер-генераторными, тепловыми трубами. Системы аккумулирования теплоты. Определение объемов выхода и экономии от использования ВЭР. Источники вторичных энергоресурсов (ВЭР). Утилизация теплоты отработавших газов, испарительного охлаждения, технологических продуктов и отходов производства. Схемы теплообменников и котлов - утилизаторов.

Виды токсичных газов выбросов и доли выбросов в окружающую среду отраслями промышленности. Очистка газовых выбросов от золы, пыли и твердых частиц. Уменьшение токсичных выхлопных газов тепловых двигателей. Тепловое загрязнение водоемов и атмосферы.

### **РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К РАЗДЕЛУ 4**

#### **Основная литература**

1. Теплотехника. Под. Ред. В. Н. Луканина. - 5-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2005. - 571 с.
2. Михеев М.А. Основы теплопередачи. - Минск: Высшая школа А, 2010. - 320 с.
3. Теплотехника: Учеб. для вузов / А. П. Баскаков, Б.В. Берг, О.К. Витт и др.; Под ред. А. П. Баскаков. - 3-е изд., перераб. И доп. - М.: ООО «ИД «БАС-ТЕТ», 2010. - 328 с.
4. Теплотехника [электронное издание]: учебник / В.В. Андреев, В.А. Лебедев, Б.И. Спесивцев.- СПб.: Горный университет, № госрегистрации - 0321601812, 2016. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/71706.html>
5. Лебедев В.А. Теплоэнергетика [Электронный ресурс] : учебник / В.А. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский горный

### **Дополнительная литература**

1. Тепломассообмен. Учебное пособие для вузов./Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство МЭИ, 2006. - 550 с.
2. Бельский А.П., Лакомкин В.Ю. Специальные вопросы тепломассообмена в энергетических и теплотехнологических процессах и установках: учебное пособие. - Изд. 2-е, испр. и доп. - ГОУ ВПО СПбГТУРП. - СПб., 2011. - 98 с.
3. Сапожников С.З. Китанин Э.Л. Техническая термодинамика и теплопередача: Учебник для вузов. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. - 319 с.
4. Теплотехника. Учебник. /А.М. Архаров и [др.] – 3-е изд., – М.: Энергия, 2011. - 196 с.
5. Ляшков В.И. Теоретические основы теплотехники: Учебное пособие. - Москва. Издательство "Машиностроение", 2005. - 260 с.

## **РАЗДЕЛ 5. ТУРБОМАШИНЫ И ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

### **5. 1. Теория рабочих процессов в двигателях внутреннего сгорания**

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

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. Теплостойкость 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.

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 камеры 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.

Математическое моделирование рабочих процессов ДВС. Теплообмен в цилиндре в течение рабочего цикла. Математическое моделирование процесса впуска. Математическое моделирование процесса сжатия. Математическое моделирование процесса сгорания. Математическое моделирование процесса расширения (без сгорания). Математическое моделирование процесса выпуска. Математическое моделирование процесса одновременного впуска и выпуска.

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.

## **5.2. Динамика двигателей внутреннего сгорания**

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

## **5.3. Испытание энергетических установок**

Виды стендовых испытаний ДВС. Эксплуатационные испытания. Подготовка двигателей к испытаниям. Комплектность двигателя. Обкатка двигателей. Определение расхода масла на угар и характеристики устойчивости. Определение механических потерь и равномерности работы цилиндров.

Тормозные установки. Гидравлические тормоза. Электрические тормоза постоянного тока. Электрические тормоза переменного тока. Индукторные тормоза. Устойчивость работы системы двигатель-тормоз.

Измерение крутящего момента и частоты вращения. Измерение крутящего момента. Весовые устройства. Устройства с использованием силоизмерительных датчиков. Торсионные динамометры. Измерение частоты вращения.

Измерение температуры и давления. Средства измерения температуры. Термометры расширения. Термоэлектрические термометры. Термометры сопротивления. Другие средства оценки теплового состояния.

Измерение давлений и расходов жидкостей и газов. Средства измерения давления. Измерение расходов топлива и воздуха. Измерение расхода топлива.

Измерение расхода воздуха. Ротационные счетчики газа

Индицирование двигателей. Электрические индикаторы. Пьезоэлектрические датчики. Стробоскопические индикаторы. Ошибки индицирования. Измерительно-вычислительные комплексы для испытаний и индицирования двигателей.

#### **5. 4. Альтернативные виды топлива**

Альтернативные виды топлива. Перспективы использования альтернативных топлив. Использование сжиженных нефтяных газов. Использование природного газа. Использование угля, природных сланцев и смол. Использование вторичных ресурсов. Использование водорода и водородсодержащих топлив (синтез-газа —  $H_2 + CO$ ). Использование топливных элементов

#### **5.5. Агрегаты и устройства систем турбонаддува ДВС**

Наддув двигателей и способы наддува, схемы комбинированных двигателей. Методы форсирования поршневых двигателей. Низкий, средний и высокий наддув; их влияние на конструкцию двигателя. Историческая справка по развитию наддува. Роль наддува двигателей в повышении показателей их качества.

Объемные, поршневые, роторные, винтовые, центробежные и осевые компрессоры. Принцип действия поршневого компрессора, теоретический цикл, вредное пространство, объемный КПД. Особенности конструкции лопастных, винтовых и спиральных компрессоров, их достоинства и недостатки. Рабочий цикл винтового компрессора. Устройство и принцип действия центробежных и осевых компрессоров. Изменение скорости и давления в проточной части центробежного компрессора.

Методы расчета и конструирование компрессоров. Степень повышения давления в компрессоре. Адиабатный КПД компрессора; его влияние на температуру воздуха на выходе из нагнетателя. Помпаж.

Охладители воздуха. Тепловая эффективность охладителя. Схемы систем промежуточного охлаждения наддувочного воздуха.

### **РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК К РАЗДЕЛУ 5**

#### **Основная литература**

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред совет: К.В. Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV-14 / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др.; Под общ. ред. А.А. Александрова и Н.А. Иващенко. 2013. 784 с.: ил.

2. Яманин А.И., Голубев Ю.В., Жаров А.В., Шилов С.М., Павлов А.А. Компьютерно-информационные технологии в двигателестроении: Учебное пособие.-М.: Машиностроение, 2005. 480с., ил. <https://e.lanbook.com/reader/book/788/#2>.

3. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.1 Теория рабочих



процессов: Учебник для вузов / В.Н. Луканин, К.И. Морозов, А.С. Хачиян и др.; Под ред. В.Н. Луканина.—2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 2005.— 479 с.

4. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн.2 Динамика и конструирование: Учебник для вузов / В.Н.Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др. Под ред В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2005. — 400 с.

5. Иванов А.М. Основы конструкции автомобиля / А.М. Иванов, А.Н. Солнцев, В.В. Гаевский. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005.— 336 с.

### **Дополнительная литература**

1. Глаголев Н.М. Рабочие процессы двигателей внутреннего сгорания. — М.: Машгиз, 1950. — 480 с.

2. Попык К.Г. Динамика автомобильный и тракторных двигателей. — М.: Высшая школа, 1970. — 328 с.

3. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник / В.Г. Дьяченко—Перевод с украинского языка. — Харьков: ХНАДУ. 2009.—500с.

4. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учебник для ВУЗов.—Мн.: Выш. шк., 1986.—208 с.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:**

Российская государственная библиотека

[www.rsl.ru](http://www.rsl.ru)

Российская национальная библиотека

[www.nlr.ru](http://www.nlr.ru)

Библиотека Академии наук

[www.rasl.ru](http://www.rasl.ru)

Библиотека по естественным наукам РАН

[www.benran.ru](http://www.benran.ru)

Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ)

[www.viniti.ru](http://www.viniti.ru)

Государственная публичная научно-техническая библиотека

[www.gpntb.ru](http://www.gpntb.ru)

Научная библиотека Санкт-Петербургского государственного университета

[www.geology.pu.ru/library/](http://www.geology.pu.ru/library/)

Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU

[elibrary.ru](http://elibrary.ru)