



**Уральский  
Федеральный  
университет**

имени первого Президента  
России Б.Н.Ельцина

Уральский  
энергетический  
институт

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет имени  
первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)  
Уральский энергетический институт (УралЭНИИ)

*Программа вступительных испытаний в аспирантуру по научным  
специальностям группы 2.4 – Энергетика и электротехника*

*стр. 1 из 47*

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке

А.В.Германенко

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

## **ПРОГРАММА**

**вступительных испытаний в аспирантуру по научным специальностям  
группы 2.4 – Энергетика и электротехника  
по специальной дисциплине**

Екатеринбург

2022

## **Содержание**

1. Назначение и область применения .....	3
2. Содержание программы .....	3
3. Вопросы для вступительного испытания .....	14
4. Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру по научным специальностям группы 2.4 – Энергетика и электротехника .....	35
5. Список рекомендуемой литературы (основная и дополнительная) .....	35
6. Рекомендуемые Интернет-ресурсы.....	46
Лист согласования.....	47

## 1. Назначение и область применения

Программа определяет требования к содержанию вступительных испытаний в аспирантуру по научным специальностям группы 2.4 – Энергетика и электротехника.

Программа предназначена для подготовки и проведения вступительных испытаний при поступлении в аспирантуру по специальной дисциплине (по выбору):

- 2.4.2 Электротехнические комплексы и системы;
- 2.4.3 Электроэнергетика;
- 2.4.4 Электротехнология и электрофизика;
- 2.4.5 Энергетические системы и комплексы;
- 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника;
- 2.4.7 Турбомашины и поршневые двигатели;

## 2. Содержание программы

### Дисциплина специализации: Электротехнические комплексы и системы

Физические явления, лежащие в основе функционирования электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов. Материалы, применяемые при создании электрических машин, трансформаторов и электрических аппаратов.

Основные технические решения, направления совершенствования электромагнитных и электромеханических преобразователей (трансформаторы, машины постоянного тока, асинхронные двигатели, синхронные генераторы и двигатели, специальные электрические машины) и электрических аппаратов (коммутационная и защитная аппаратура высокого напряжения, аппараты низкого напряжения). Режимы работы электрических машин, трансформаторов и электрических аппаратов, их основные характеристики. Методы оценки их теплового состояния.

Математические модели (эквивалентные схемы замещения, параметры схем замещения, основные уравнения, полевые модели) и методы анализа и синтеза электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии. Математическое моделирование и основные методы анализа и синтеза электрических аппаратов.

Основные подходы и методы проектирования электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов. Надежность, контроль и диагностика функционирования электромагнитных и электромеханических преобразователей энергии и электрических аппаратов в процессе их эксплуатации, в том числе в составе рабочих комплексов.

Специальные электрические машины, в том числе для нетрадиционных способов электромеханического преобразования энергии с целью эффективного использования природных ресурсов. Специальные трансформаторы (сварочные, измерительные).

Основные типы электрических аппаратов высокого и низкого напряжения. Особенности их конструкции. Физические процессы в электрических аппаратах (процессы в контактных соединениях, электрическая дуга, процессы дугогашения)

Общая характеристика электротехнических комплексов и систем (системы электропривода, электротехнологические комплексы, системы электроснабжения, системы отраслевого электрооборудования). Понятие о системных свойствах и связях.

Классификация электроприводов. Технические средства электроприводов (электродвигатели, механические передаточные устройства, управляемые преобразователи

электрической энергии, элементы систем управления: датчики, контроллеры, коммутирующие элементы). Структура и основные элементы автоматизированного электропривода. Уравнение движения многомассовой механической части, механическая часть электропривода как объект управления, структурная схема, передаточные функции, частотные характеристики. Динамика обобщенной разомкнутой электромеханической системы. Переходные процессы в электромеханической системе при использовании различных типов электрических двигателей и при разных законах изменения управляющих воздействий. Регулирование скорости электропривода. Показатели качества регулирования. Диапазон регулирования. Основные способы регулирования скорости двигателей постоянного тока, их особенности, сравнительная оценка. Основные способы регулирования скорости электропривода переменного тока, их особенности, сравнительная оценка.

Основы физического, математического, имитационного и компьютерного моделирования компонентов электротехнических комплексов и систем. Понятия о технических, технологических, экономических, экологических и социальных критериях оценки принимаемых решений в области проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов и систем. Математическое описание систем электроприводов в установившихся и переходных режимах.

Основные типы систем управления электроприводами и технологическими комплексами, принципы управления. Математическое моделирование систем управления. Структурный и параметрический синтез электротехнических комплексов и систем, их оптимизация. Преобразователи электрической энергии в системах питания электроприводов и технологических комплексов.

Электроприводы и системы управления типовым технологическим и транспортным оборудованием. Автоматизированные технологические комплексы в металлургии, машиностроении, коммунальном хозяйстве.

### **Дисциплина специализации: Электроэнергетика**

Структура информационных потоков в АСДУ. Особенности информации в автоматизированной системе диспетчерского управления ЭЭС. Иерархическая структура АСДУ. Функции и структура автоматизированных систем диспетчерского управления ЭЭС. Управление на основе телеизмерений. Уровни информационного обеспечения.

Глобализация электроэнергетики и большие электрические системы. Стратегические проектные идеи: регионализация; создание хозяйственных субъектов и организация полного рынка мощности и энергии. Проблемы интеграции энергосистем и управления большими системами. Современное состояние и тенденции. Задачи автоматического и автоматизированного управления.

Измерительные системы и датчики. Дискретная информация. Квантование по времени и по уровню. Пути прохождения информации в системе управления энергосистемой. Каналы и линии связи. Многоканальные системы телеметрии. Высокочастотная передача телеизмерений.

Средства отображения информации в АСДУ. Локальные вычислительные сети. Перспективы развития технических средств в АСДУ. Автоматизированные системы контроля и управления потоками электроэнергии.

Источники погрешности телеизмерений и достоверизации информации. Получение и обработка первичной информации. Погрешности и способы повышения достоверности информации. Фильтрация информации и специальное математическое обеспечение.

Формирование псевдоизмерений и архивной информации.

Эквивалентирование для оперативного управления. Методы оперативных расчетов режимов. Упрощенные модели. Линеаризация уравнений установившегося режима электрической системы.

Формирование целевой функций и ее геометрическая интерпретация. Математическое программирование и его разделы. Ограничения в форме равенства и неравенства. Условная и безусловная оптимизация. Метод Лагранжа учета ограничений в форме равенств.

Определение направления и длины шага. Методы локализации экстремума. Методы нулевого порядка: случайный поиск и покоординатный спуск. Методы первого порядка: Градиентные методы и организация скорейшего спуска. Методы второго порядка – аппроксимирующее программирование: обобщенный метод Ньютона. Методы штрафных функций для учета ограничений в форме неравенств.

Целевая функция и режимные ограничения. Этапы усложнения задачи оптимизации в связи с совершенствование вычислительной техники, компьютерных и информационных технологий. Основные алгоритмы и допущения при оптимизации режима ЭЭС.

Модели рынка в электроэнергетике. Ценовые заявки и ценообразование с учетом сетевого фактора и режимных ограничений.

Математическая и электроэнергетическая трактовка критериев. Математические формулировки задачи: линейное и нелинейное оценивание состояния. Учет погрешности измерений и телепередачи информации. Обнаружение и исключение плохих данных.

Математическая модель электрического режима в задаче оценивания состояния. Использование векторных синхронизированных измерений. Перспективы совершенствования информационного обеспечения в АСДУ.

Диспетчерское управление режимами. Идентификация режимов (нормальные тяжелые, послеаварийные). Оперативная дооптимизация и ввод режима в допустимую область. Согласование оперативной коррекции режима ЭЭС и действия автоматики регулирования частоты и активной мощности. Тренажеры в электроэнергетике (диспетчеров энергосистем, дежурного персонала электростанций и сетевых предприятий).

## **Дисциплина специализации: Электротехнология и электрофизика**

Основные понятия и закономерности передачи электромагнитной энергии в сложные среды, преобразования электрической и магнитной энергии в веществах. Основы теплопередачи и процессов массопереноса. Классификация электротехнологических установок по видам преобразования энергии: электротермические, электрохимические, электрокинетические и электромеханические.

Основные виды электронагрева: индукционные, дуговой, плазменный, прямой нагрев. Понятие о электроннолучевом, ионном и лазерном видах нагрева. Понятие о процессах и оборудовании для электрической сварки.

Основные конструктивные исполнения и характеристики электрических печей сопротивления и установок прямого нагрева, дуговых электропечей, индукционных плавильных установок, установок индукционного и диэлектрического нагрева материалов. Характеристики специальных материалов для электрических печей.

Магнитогидродинамические процессы в металлургии. Основные МГД-установки: кондукционные и индукционные насосы, устройства электромагнитного перемешивания расплава в печах и кристаллизаторах.

Процессы, оборудование и источники питания электролизных установок. Электрофизикохимические методы обработки материалов: электроэрозионные методы размерной обработки материалов, ультразвуковые методы, магнитоимпульсная обработка с целью пластической деформации, электромагнитные методы сепарации материалов. Электротехнологические методы и установки экологического назначения.

Математическое описание и моделирование взаимосвязанных физических процессов (электромагнитных, тепловых, гидродинамических) в электротермических установках. Методы расчета электромагнитных, тепловых, гидродинамических процессов.

Электроснабжение и оборудование электротехнологических установок. Принципы и системы автоматического управления электротехнологическими установками и комплексами. Понятие о структурном и параметрическом синтезе электротехнологических комплексов и систем.

### **Дисциплина специализации: Энергетические системы и комплексы**

Электрификация и ее развитие. Единая энергетическая система. Теплофикация и ее энергетическое, экономическое и социальное значение. Классификация тепловых электростанций. Технологическая схема конденсационных станций. Технологическая схема тепловых электрических станций ТЭЦ. Технологическая схема станций с ПТУ.

Тепловые схемы паротурбинных электростанций со средними, высокими и сверхвысокими параметрами пара. Тепловые схемы конденсационной и теплофикационной электростанций (КЭС и ТЭЦ); блочные и неблочные (с поперечными связями). Схемы подогрева сетевой и подпиточной воды на ТЭЦ. Регенеративный подогрев питательной воды. Тепловая экономичность ТЭС в зависимости от начальных параметров, параметров промперегрева, температуры питательной воды, температуры сетевой воды, температуры конденсации отработавшего пара. Применяемые тепловые схемы газотурбинных и парогазовых установок. Теплогенерирующие установки тепловых электростанций.

Основные характеристики твердого топлива, потребляемого на ТЭС. Основные характеристики жидкого топлива, потребляемого на ТЭС. Прием, складирование, сушка и размол твердого топлива. Прием, хранение и транспорт жидкого топлива. Основные схемы подготовки топлива на ТЭС. Общие закономерности химической кинетики. Виды концентраций. Основные типы сложных реакций. Обратимые реакции. Связь энергии активации с тепловым эффектом. Гетерогенные реакции. Внешнедиффузионная область. Структура реагирующего пограничного слоя. Негорящий пограничный слой. Горящий пограничный слой. Воспламенение углерода.

Общая классификация и характеристика современных энергетически и тепловых котлоагрегатов. Типы энергетических котлов (прямоточные, барабанные) и их отличия. Водогрейные котлы. Отличия водных режимов (ВХР) барабанного и прямоточного котлов. Отличия в условиях работы радиационных, конвективных, ширмовых и воздухоподогревательных поверхностей нагрева.

Принципиальные тепловые схемы паротурбинных установок КЭС и ТЭЦ. Основные типы турбин ТЭС. Конденсационные установки, основные характеристики. Теплообменное оборудование системы регенеративного подогрева питательной воды. Термические деаэраторы, испарители их назначение и схемы включения. Теплофикационные теплоподготовительные установки, принципиальные схемы, основное оборудование, режимы работы.

Толстостенные трубы и сосуды. Принципы расчета элементов конструкций, работающих за пределами упругости. Длительная прочность. Стадии ползучести. Релаксация напряжений.

Температурные напряжения. Метод конечных элементов. Экспериментальные методы напряжений. Испытания материалов. Основные механические свойства материалов. Основные требования по безопасной эксплуатации паровых котлов и турбин.

Методы водоподготовки. Основные преимущества и недостатки различных методов водоподготовки. Схемы водоподготовки. Различие схем для энергоблоков. Накипеобразование и методы борьбы с ним в барабанных и прямоточных котлах. Показатели качества котловой воды. Причины коррозии энергетического оборудования. Анतिकоррозионные мероприятия.

Энергоустановки на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Физические основы возобновляемой энергетики. Ветроэнергетика: коэффициент использования ветра, теория идеального ветроколеса, классы ветроэнергетических установок, основное энергетическое и вспомогательное оборудование ВЭУ. Расчет мощности ВЭУ. Солнечная энергетика: солнечная постоянная, оборудование и режимы работы. Малая гидроэнергетика: классификация малых ГЭС и гидротурбин. Деривационная и плотинная схемы создания напора; схемы мини ГЭС. Основное и вспомогательное оборудование малых ГЭС. Геотермальная энергетика. Типы геотермальных месторождений. Основное и вспомогательное оборудование геотермальных ЭС. Схемы отбора и использования геотермальной энергии. Биогазовые установки. Методы преобразования биомасс в газовое и жидкое топливо. Процессы пиролиза, термической и биологической переработки. Схемы функционирования и основные элементы конструкции БГУ. Физические основы функционирования тепловых насосов. Источники низкопотенциального тепла для ТН. Устройство и классификация испарителей, конденсаторов и компрессоров ТН. Коэффициент эффективности теплового насоса.

## **Дисциплина специализации: Техническая и прикладная теплотехника**

**Раздел 1. Техническая термодинамика.** Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система. Объект исследования, математический аппарат и задачи технической термодинамики. Основные способы получения энергии. Классификация термодинамических систем. Параметры состояния. Термодинамическое равновесие. Первый (основной) постулат термодинамики.

Термодинамическое состояние. Термодинамический процесс. Внутренняя энергия. Работа расширения. Теплота. Аналитическое выражение первого закона термодинамики. Теплоемкость газов. Энтальпия.

Внутренняя энергия, работа, теплота, теплоемкость. Определение и свойства внутренней энергии. Работа и внешняя работа. Работа цикла. Теплота. Энтропия как обобщенная координата. Теплота цикла. Полная и удельные теплоемкости. Факторы, влияющие на теплоемкость. Расчет количества теплоты при переменной теплоемкости (табличный и аналитический способы). Теплоемкость газовых смесей.

I закон термодинамики. Формулировки и математическое выражение первого закона термодинамики. Понятие о вечном двигателе первого рода. Энтальпия термодинамической системы и внешняя работа.

II закон термодинамики, III закон термодинамики. Качественное различие между работой и теплотой. Принципиальная схема теплового двигателя. Различные формулировки второго закона термодинамики (Томсона, Клаузиуса). Понятие о вечном двигателе второго рода. Математическое выражение второго закона термодинамики для обратимых и необратимых процессов, принцип возрастания энтропии. Основы термодинамики необратимых процессов. Третий закон термодинамики. Тепловая теорема Нернста.

Дифференциальные уравнения термодинамики. Уравнения для первого закона термодинамики, внутренней энергии и энтальпии, энтропии и теплоемкости. Закон Джоуля. Формула Майера. Вычисление термодинамических функций.

Основные термодинамические процессы. Уравнение политропного процесса и его анализ. Политропный процесс идеального газа. Адиабатный, изотермический, изобарный, изохорный процессы. Обобщающее значение политропного процесса.

Термодинамические потенциалы и характеристические функции. Свободная энергия Гельмгольца. Изобарный потенциал Гиббса. Фундаментальное уравнение Гиббса для термодинамических потенциалов. Соотношения Максвелла.

Термодинамика фазовых переходов. Процессы с переменным числом частиц. Фундаментальное уравнение Гиббса для систем с переменным числом частиц. Химический потенциал и его свойства. Правило фаз Гиббса. Фазовая диаграмма  $p$ - $T$ . Фазовые переходы первого рода. Условия фазового равновесия на примере системы «жидкость – пар». Уравнение Клапейрона – Клаузиуса.

Реальные газы (водяной пар). Термодинамические свойства воды и водяного пара. Анализ процессов в  $p$ - $V$ ,  $T$ - $S$ ,  $h$ - $S$  диаграммах. Уравнение состояния воды и перегретого пара. Расчет параметров влажного пара. Основные термодинамические процессы воды и водяного пара. Расчет процессов при помощи таблиц и диаграмм.

Влажный воздух. Термодинамические свойства,  $h$ - $d$  диаграмма и расчет процессов влажного воздуха.

Основные законы термодинамики для потока. Методы описания и основные законы для потока вещества. Уравнение баланса механической энергии. Скорость звука. Число Маха. Режимы течения. Принцип обращения воздействия. Сопло и диффузор. Принцип работы турбины. Типы сопел.

Истечение из сопел. Термодинамика геометрического сопла. Режимы работы сопла. Истечение идеального и реальных газов из суживающегося сопла и комбинированного сопла Лавалья. Адиабатическое торможение потока. Температура адиабатического торможения.

Дросселирование. Процесс дросселирования и его эффект. Особенности дросселирования воды и водяного пара.

Законы химической термодинамики. Стехиометрия химических реакций. Первый закон термодинамики применительно к химическим реакциям. Теплоты химических превращений. Закон Гесса.

Равновесный состав продуктов реакции. Химическое равновесие, закон действующих масс. Константа равновесия. Химическое сродство. Скорости химических реакций.

Основные законы и понятия для циклов. Прямые и обратные циклы. Первый и второй закон термодинамики для циклов тепловых двигателей. Термический КПД цикла. Выражение для термического КПД и его анализ. Цикл Карно. Теоремы Карно. Регенерация тепла. Обобщенный цикл Карно.

Газовые циклы. Циклы двигателей внутреннего сгорания с изохорным, изобарным и смешанным подводами теплоты. Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Термодинамический анализ работы компрессора. Термический КПД идеального цикла ГТУ и способы его повышения. Циклы прямоточного турбореактивного и ракетного двигателей.

Циклы паротурбинных установок. Цикл Карно в области влажного пара. Цикл Ренкина – цикл паротурбинной установки (ПТУ). Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла. Промежуточный перегрев пара, регенерация теплоты и теплофикация в

циклах ПТУ. Термодинамический расчет с учетом потерь. КПД реальных циклов. Внутренний относительный и эффективный КПД. Особенности циклов АЭС.

Бинарные циклы. Влияние свойств рабочего тела на КПД цикла Ренкина. Расчет бинарного цикла и парогазового циклов.

Обратные циклы. Обратный цикл Карно. Принципиальные схемы и расчет воздушной и парокомпрессорной холодильных установок. Рабочие тела парокомпрессорных холодильных установок. Эжекторные и адсорбционные холодильные установки. схема, принцип действия и эффективность установок. Циклы тепловых насосов и трансформаторов тепла.

Нетрадиционные методы получения электрической энергии. Циклы прямого преобразования теплоты в электрическую энергию. Топливные элементы. Термоэлектрические и термомагнитные установки. Термоэлектронные преобразователи.

**Раздел 2. Основы тепло- и массообмена.** Способы переноса теплоты в пространстве. Перенос теплоты теплопроводностью, конвекцией и излучением. Процессы теплоотдачи и теплопередачи. Количество теплоты, тепловой поток, плотность теплового потока, линейная плотность теплового потока, плотность внутренних источников теплоты.

Основные положения процесса теплопроводности. Температурное поле. Закон Био-Фурье – основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Механизм переноса теплоты в газах, жидкостях и твердых телах. Дифференциальное уравнение теплопроводности для твердого тела. Коэффициент температуропроводности. Условия однозначности.

Теплопроводность и теплопередача через плоские стенки. Передача теплоты через одно-и многослойные плоские стенки при граничных условиях первого рода. Передача теплоты через одно-и многослойные плоские стенки при граничных условиях третьего рода.

Теплопроводность и теплопередача через цилиндрические стенки. Передача теплоты через одно- и многослойные цилиндрические стенки. Коэффициент теплопередачи. Передача теплоты теплопроводностью через одно-и многослойные плоские. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр тепловой изоляции.

Способы интенсификации теплопередачи. Способы интенсификации теплопередачи. Теплопередача через ребристую стенку (приближенный расчет).

Теплопроводность в ребре постоянного поперечного сечения. Распределение температуры по длине ребра. Тепловой поток, передаваемый с поверхности ребра. Коэффициент эффективности работы ребра. Уточненный расчет теплопередачи через ребристую стенку.

Теплопроводность при нестационарном режиме. Виды нестационарных процессов. Физический смысл безразмерных чисел Био и Фурье. Теорема о перемножении решений. Охлаждение (нагревание) тел любой формы при  $Bi \rightarrow 0$  ( $Bi \leq 0,1$ ). Регулярный тепловой режим.

Основные положения конвективного теплообмена. Основные свойства жидкости. Режимы течения и их влияние на конвективный теплообмен.

Теплоотдача при вынужденном движении жидкости. Аналитическая основа получения расчетных формул для коэффициента теплоотдачи при ламинарном режиме движения жидкости. Аналогия Рейнольдса для ламинарного подслоя. Аналогия Рейнольдса для турбулентного слоя. Влияние направления теплового потока на величину коэффициента теплоотдачи.

Теплоотдача при ламинарном ( $Re < 10^5$ ) движении жидкости вдоль плоской поверхности. Расчет локального и среднего коэффициентов теплоотдачи. Толщина теплового и гидродинамического пограничных слоев. Определяющая температура и определяющий геометрический размер.

Теплоотдача при турбулентном ( $Re \geq 10^5$ ) движении жидкости вдоль плоской поверхности. Гидродинамическая теория теплообмена (аналогия Рейнольдса). Связь коэффициента теплоотдачи с касательными напряжениями. Модель турбулентного пограничного слоя Кармана. Расчетные формулы для локального и среднего коэффициентов теплоотдачи.

Теплоотдача при течении жидкости в трубе. Эквивалентный диаметр. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Понятие длинных и коротких труб. Расчет локального и среднего коэффициентов теплоотдачи для длинных и коротких труб.

Теплоотдача при турбулентном режиме ( $Re > 10^4$ ) движения жидкости в трубе. Аналитический метод расчета с использованием аналогии Рейнольдса. Расчет локального и среднего коэффициентов теплоотдачи для длинных и коротких труб. Теплоотдача при переходном режиме ( $2300 \leq Re \leq 10^4$ ) движения жидкости в трубе и каналах некруглого поперечного сечения.

Теплоотдача при поперечном обтекании одиночной трубы и пучка труб. Картина обтекания одиночной трубы набегающим потоком жидкости. Изменение локального коэффициента теплоотдачи по периметру трубы. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи. Картина обтекания пучка труб. Режимы движения жидкости в пучке труб. Расчетные формулы для определения среднего коэффициента теплоотдачи для труб, начиная с третьего ряда. Расчет среднего коэффициента теплоотдачи для всего пучка труб.

Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки и около горизонтально расположенной трубы. Расчет теплоотдачи при свободном ламинарном и турбулентном движении жидкости вдоль вертикальной стенки в неограниченном пространстве. Расчет теплоотдачи около горизонтально расположенной трубы. Особенности расчета теплоотдачи для горизонтально расположенных плит.

Теплоотдача при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве. Свободная конвекция в узких вертикальных, горизонтальных и кольцевых прослойках. Особенности расчета теплоотдачи. Эквивалентный коэффициент теплопроводности. Определяющий геометрический размер и определяющая температура.

Теплоотдача при конденсации водяного пара на вертикальной и горизонтальной поверхности. Пленочная и капельная конденсация. Теплоотдача при конденсации сухого насыщенного пара на вертикальной поверхности при ламинарном режиме течения пленки конденсата. Теплоотдача при конденсации пара на горизонтальной трубе и пучках труб. Факторы, влияющие на теплообмен при конденсации.

Теплоотдача при кипении жидкости в большом объеме и при кипении жидкости, движущейся внутри труб. Режимы кипения. Условия, необходимые для возникновения процесса кипения. Теплообмен при кипении жидкости на поверхности. Первый и второй кризисы кипения. Теплоотдача при кипении жидкости, движущейся в трубах.

Теплообмен излучением. Особенности излучения и поглощения энергии твердыми, жидкими и газообразными средами. Виды тепловых потоков. Разновидности полусферического излучения. Связь эффективного и результирующего излучения. Законы теплового излучения. Методы исследования лучистого теплообмена. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Приведенная степень черноты. Теплообмен излучением при наличии экранов. Теплообмен излучением в замкнутой системе, состоящей из двух серых тел. Излучение газов и паров. Расчет теплообмена между поглощающей средой и поверхностью тела. Сложный теплообмен.

Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата. Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия. Схемы движения теплоносителей. Основные

положения теплового расчета. Уравнение теплового баланса. Уравнение теплопередачи. Среднеинтегральный температурный напор. Сравнение прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.

Молекулярный и конвективный массообмен. Массовая и мольная концентрация вещества. Градиент концентрации. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Запись закона Фика через парциальное давление. Вычисление плотности потока массы. Диффузионный пограничный слой. Уравнение массоотдачи. Аналогия между процессами тепло- и массообмена. Безразмерные числа Шервуда и Шмидта. Определение коэффициента массоотдачи.

**Раздел 3. Теплоэнергетические установки.** Виды и характеристики топлива. Состав и основные характеристики твердого топлива. Состав и основные характеристики газообразного топлива. Теплота сгорания топлива. Условное топливо. Приведенные характеристики. Классификация топлив.

Расчеты процессов горения твердого, жидкого и газообразного топлива. Количество воздуха, необходимого для горения. Теплота «сгорания» воздуха. Объемы и состав продуктов сгорания. Энтальпия продуктов сгорания.

Основы теории горения и организация сжигания топлив в промышленных условиях. Топочные устройства. Основы расчета и основные параметры топочных устройств. Кинетика гомогенных реакций горения газа. Самовоспламенение и зажигание горючей смеси. Нормальный пламя. Турбулентное пламя. Детонация. Диффузионное пламя. Горелки и топочные устройства для сжигания газообразного топлива и газообразных отходов производства. Форсунки и топки для жидкого топлива. Закономерности гетерогенного горения. Способы сжигания твердого топлива и твердых отходов производства.

Котельная установка. Понятие котельной установки. Принципиальная схема котельной установки. Общее уравнение теплового баланса. Теплота, полезно затраченная на производство пара и воды. Расход топлива и КПД котла. Потери теплоты с уходящими газами. Потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания. Потери теплоты от наружного охлаждения. Потери с физической теплотой шлака. Зависимость КПД котла от нагрузки. Основные поверхности нагрева котлов.

Водный режим и качество пара котлов. Задачи водного режима. Требования к питательной воде. Системы подготовки питательной воды. Водный режим барабанных котлов. Ступенчатое испарение. Продувка котла. Требования к чистоте пара. Причины загрязнения пара. Унос влаги с паром. Сепарация и промывка пара.

Пароперегреватели. Назначение и классификация пароперегревателей. Конвективные пароперегреватели. Радиационные и ширмовые пароперегреватели. Компоновка пароперегревателей. Регулирование температуры пара. Паровое регулирование. Методы газового регулирования.

Низкотемпературные поверхности нагрева. Компоновка низкотемпературных поверхностей нагрева. Экономайзеры. Рекуперативные и регенеративные воздухоподогреватели. Условия работы низкотемпературных поверхностей нагрева. Методы повышения коррозионной стойкости воздухоподогревателей.

Вспомогательное оборудование и вопросы эксплуатации котельной установки. Вспомогательные устройства котельной установки. Автоматизация работы котельных установок и защитные устройства. Особенности эксплуатации котельных установок. Охрана окружающей среды от вредных выбросов котельных агрегатов.

Паровые и газовые турбины. Тепловой процесс в турбинной ступени. Основные соотношения и определения. Мощность и КПД турбины. Паровые турбины. Конденсационные устройства паровых турбин. Газотурбинные установки (ГТУ). Турборасширительные машины.

Двигатели внутреннего сгорания. Общие сведения и классификация двигателей внутреннего сгорания. Смесеобразование в ДВС. Техничко-экономические показатели ДВС. Тепловой баланс двигателя. Токсичность выхлопных газов ДВС.

Электрические станции. Общие сведения. Классификация тепловых электрических станций. Коэффициент полезного действия и тепловая схема паротурбинной конденсационной ТЭС (КЭС). Промышленные ТЭС. Электростанции с комбинированной выработкой теплоты и электрической энергии (ТЭЦ). Нагрузки ТЭС и технико-экономические показатели. Водный режим, химический контроль и обработка воды на ТЭС. Установки и системы водоподготовки в промышленности.

Альтернативная энергетика. Солнечные энергетические установки. Геотермальная энергетика. Ветроэнергетика.

**Раздел 4. Промышленная теплоэнергетика.** Промышленные тепло- и массообменные аппараты и установки. Теплообменные и тепломассообменные установки. Классификация аппаратов и установок по виду теплообмена, принципу действия и назначению. Рекуперативные, регенеративные, смесительные теплообменные аппараты; аппараты непрерывного и периодического действия; выпарные, сушильные, перегонные и ректификационные установки. Виды оребренных теплопередающих поверхностей. Коэффициент оребрения. Приведенный коэффициент теплоотдачи оребренной поверхности. Расчет теплообменных аппаратов с ребристыми поверхностями нагрева. Методы интенсификации теплообмена: профилированные трубки, турбулизация потока насадками, искусственная шероховатость поверхности; интенсификация при фазовых переходах. Конструкции современных кожухотрубных и пластинчатых теплообменных аппаратов. Область применения регенеративных теплообменников. Конструкции и принцип действия регенеративных теплообменников.

Физические основы процессов выпаривания. Характеристики растворов. Температурные депрессии. Классификация и конструкции выпарных аппаратов. Сепарация вторичного пара. Схемы многокорпусных выпарных установок непрерывного действия. Располагаемая и полезная разности температур. Последовательность теплового расчета выпарных установок. Физико-химические и термодинамические основы процессов перегонки и ректификации. Идеальные смеси. Диаграммы давлений, фазовая и равновесия для смесей с взаимонерастворимыми компонентами. Свойства смесей с взаиморастворимыми компонентами. Закон Рауля. Свойства реальных смесей. Схемы дистилляционных установок. Процессы в дистилляционных установках. Типы и конструкции ректификационных установок. Схема Ректификационной колонны. Построения процесса ректификации в фазовой диаграмме. Определение числа тарелок в ректификационной колонне.

Основы трансформации теплоты. Назначение трансформаторов тепла. Классификация. Области применения трансформаторов тепла. Парожидкостные холодильные и теплонаносные установки. Хладагенты и хладоносители. Абсорбционные трансформаторы тепла. Газовые компрессионные трансформаторы тепла. Струйные трансформаторы тепла. Сжижение и замораживание газов. Термоэлектрические трансформаторы тепла.

Компрессорные установки. Особенности компрессорного процесса. Классификация компрессоров. Типы компрессоров, применяемых в промышленной теплоэнергетике, их

технические характеристики и конструкции. Системы охлаждения компрессоров. Помпаж лопастных компрессоров. Выбор компрессора.

Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Системы отопления. Расходы теплоты, отпускаемые из тепловых сетей потребителям тепловой энергии. Схемы присоединения и автоматизации систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения. Отопительные приборы. Энергосбережение в системах отопления. Вентиляция. Кондиционирование воздуха.

Системы теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Системы водоснабжения. Техническое водоснабжение компрессорных станций. Обратная система водоснабжения. Системы газоснабжения. Источники газоснабжения. Угледородные газы: свойства, нормы расхода и режимы потребления. Газотранспортная система. Газорегуляторные пункты (ГРП) и установки (ГРУ). Газоснабжение цехов. Сжиженный природный газ (СПГ). Сжиженные угледородные газы (СУГ). Безопасность эксплуатации газового оборудования и сетей. Системы обеспечения продуктами разделения воздуха. Методы разделения газовых смесей. Хранение и транспортировка чистых газов. Криогенное разделение воздуха. Системы производства и распределения сжатого воздуха. Системы теплоснабжения. Тепловые схемы источников теплоснабжения. Режимы регулирования систем централизованного теплоснабжения.

Вторичные энергоресурсы и основы энерготехнологического комбинирования. Общие положения об утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР). Понятие об энерготехнологии. Энергоэффективность промышленных процессов. Основы безотходных и энергосберегающих технологий. Энергосбережение в энергетике, промышленности и металлургии. Энергосбережение при производстве и распределении тепловой энергии. Рациональное использование газа в газотурбинных и парогазовых установках. Горючие ВЭР. Тепловые ВЭР. Энерготехнологическое комбинирование в различных отраслях промышленности. Использование низкопотенциальных вторичных ресурсов. Использование ВЭР избыточного давления. Глубокое охлаждение продуктов сгорания.

### **Дисциплина специализации: Турбомашины и поршневые двигатели**

Современные технологии для энергетики. ГТУ и ПТУ и их значение в современной энергетике и промышленности. Типы ГТУ и ПТУ. Основные производители энергетического оборудования. Основные экономические показатели ГТУ и ПТУ. Показатели тепловой экономичности ПТУ. Направление развития энергетики и энергетического машиностроения.

Методы исследования физических процессов в элементах турбомашин. Методы численного анализа напряжений. Автоматизированное проектирование в машиностроении. Компьютеризованные систем САХ: решение инженерных задач (CAE), конструирование (CAD), управление технологическими процессами (CAM).

Экспериментальные исследования в турбомашинах. Измерение различных показателей и параметров работы ПТУ и ГТУ. Надежность в энергетике. Методы и средства диагностики оборудования. Колебания роторов и валопроводов. Балансировка роторов разных типов.

Технико-экономические показатели основного и вспомогательного оборудования ПТУ. Показатели тепловой экономичности турбоустановок. Тепловые характеристики ПТУ. Переменный режим работы ступени ПТУ. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Влияние изменения режима работы на КПД турбины. Системы парораспределения. Изменение нагрузки паровой турбины методом скользящего давления. Классификация пусков. Классификация остановов. Основные системы ПТУ. Показатели эффективности

теплообменников ПТУ. Методы и направления совершенствования вспомогательного оборудования ПТУ.

Принципы автоматического управления и регулирования. Характеристики элементов автоматического регулирования. Типовые законы регулирования. Особенности регулирования ГТУ и ПТУ.

Энергетические газотурбинные установки. Тепловые схемы и циклы газопаровых установок. Бинарные ПГУ. Техничко-экономические показатели работы ГТУ и ЦБН. Влияние различных факторов на характеристики и режимы работы ГТУ. Пуск и останов ГПА. Общие сведения о камерах сгорания и процессах, происходящих в них. Основные характеристики КС ГТУ. Требования, предъявляемые к камерам сгорания.

### **3. Вопросы для вступительного испытания**

#### **Дисциплина специализации: Электротехнические комплексы и системы**

1. Физические процессы в трансформаторе. Схема замещения трансформатора. Уравнения приведённого трансформатора. Векторные диаграммы. Использование схемы замещения трансформатор в расчётах режимов и характеристик трансформатора.
2. Особенности работы трёхфазных трансформаторов в связи со схемами соединения обмоток и конструкцией сердечника (группы соединения, величина  $I_0$  в фазах, токи и потоки третьей гармоники, токи и потоки нулевой последовательности).
3. Принцип создания вращающегося магнитного поля в машинах переменного тока. Основная и высшие пространственные гармоники МДС и потока. Направление и частота вращения гармоник МДС.
4. Трёхфазные обмотки статоров машин переменного тока, однослойные и двухслойные. Анализ обмоток с помощью звезды пазовых ЭДС.
5. Обмотки роторов асинхронных двигателей, их конструктивные модификации, улучшающие пусковые свойства двигателей.
6. Схемы замещения асинхронного двигателя. Физическая сущность параметров схемы замещения. Скольжение как фактор нагрузки.
7. Зависимости  $M = f(s)$ ,  $I_1 = f(s)$ . Характерные точки и кратности моментов и токов. Изменение вида графика  $M = f(s)$  при изменении параметров и конструкции обмоток асинхронного двигателя (влияние повышенного рассеяния, насыщения зубцов, изменения активных сопротивлений обмоток, вытеснение тока в роторе).
8. Типы систем возбуждения синхронных машин. Параметры (сопротивления) цепи якоря. Уравнения синхронной машины в осях  $d$ ,  $q$ , жестко связанных с ротором.
9. Синхронный генератор, работающий параллельно с сетью. Генерация активной и реактивной мощности. Угловые характеристики. U-образные характеристики.
10. Синхронный компенсатор. Принцип работы, особенности конструкции. Характеристики.
11. Синхронный двигатель. Описание процессов, характеристики. Особенности конструкции и применения. Пуск в ход.
12. Конструктивные особенности и свойства петлевых и волновых обмоток якорей машин постоянного тока (шаги по якорю и коллектору, число пар параллельных ветвей, наличие уравнительных соединений). Понятие о сложных обмотках.

13. Картина магнитного поля в машинах постоянного тока (МПТ) на холостом ходу и при нагрузке. Реакция якоря при положении щёток на геометрической нейтральной и при сдвиге. Устройство и назначение компенсационной обмотки. Коммутация в машинах постоянного тока.
14. Влияние реакции якоря на характеристики генераторов и двигателей постоянного тока. Особенности применения шунтовых и серийных обмоток в МПТ.
15. Потери мощности и КПД в электрических машинах. Виды потерь в машинах постоянного тока в сравнении с другими электрическими машинами и трансформаторами. Понятие о добавочных потерях в электрических машинах и трансформаторах.
16. Обзор методов теплового расчёта электрических машин. Сущность метода тепловых схем замещения. Виды термических сопротивлений и их физическая природа. Определение термических сопротивлений для различных условий передачи тепла.
17. Расчёт совместной работы вентилятора и вентиляционного тракта. Графическое решение вентиляционных схем.
18. Виды, способы и типы систем охлаждения электрических машин. Задачи вентиляционного расчёта электрических машин.
19. Причина возникновения гидравлических сопротивлений. Виды гидравлических сопротивлений, их физическая природа. Эквивалентные гидравлические схемы.
20. Тепловые режимы электрических аппаратов: способы оценки температурного поля электрических аппаратов.
21. Свойства и характеристики силовых элементов электрических аппаратов на основе электромагнитов постоянного тока; способы оценки их числовых значений.
22. Свойства и характеристики силовых элементов электрических аппаратов на основе электромагнитов переменного тока; способы оценки их числовых значений.
23. Эксплуатационные и технические характеристики контактных соединений; методы их расчёта: способы повышения эксплуатационной надёжности контактов.
24. Электродинамические силы как фактор электродинамической стойкости электрических аппаратов. Основные их характеристики; методы определения величины и направления. Свойства и характеристики индукционно-динамических механизмов.
25. Значение электрической дуги в ЭА; статические и динамические характеристики электрической дуги; основные уравнения, характеризующие режим горения электрической дуги.
26. Электродуговое отключение электрических цепей постоянного тока; условия устойчивости дуги по Ляпунову.
27. Электродуговое отключение электрических цепей переменного тока; восстанавливающееся напряжение и восстанавливающаяся прочность.
28. Схемы, принцип действия, характеристики и выбор основного оборудования электронных аппаратов на основе однооперационных тиристоров или на основе транзисторов и двухоперационных тиристоров.
29. Основные принципы построения дугогасительных систем аппаратов низкого напряжения; их свойства и характеристики.
30. Материалы, применяемые в конструкции аппаратов; их свойства и характеристики.
31. Коммутационные перенапряжения при отключении выключателем ёмкостной нагрузки; основные явления, роль выключателя, меры защиты.
32. Электрические аппараты защиты оборудования от грозовых и коммутационных перенапряжений; типы, свойства, характеристики.

33. Основные типы автоматических выключателей низкого напряжения: их конструктивные схемы; параметры и характеристики. Быстродействующие автоматические выключатели; методы обеспечения быстродействия и токоограничения.
34. Назначение, принцип действия и основные характеристики измерительных электрических аппаратов; методы расчета их параметров.
35. Основные законы движения газовых потоков; методы расчета газодинамических характеристик электрических аппаратов.
36. Релейные элементы и релейные характеристики. Реле измерительные и логические. Характеристическая величина и ее установка; основные разновидности электромеханических реле и некоторые схемы с их использованием.
37. Герконы – основные разновидности, типовые характеристики, методы расчета.
38. Основные разновидности и конструктивные узлы коммутационных аппаратов рабочего режима. Их особенности на постоянном и переменном токах. Современное направление и тенденции развития коммутационных аппаратов управления.
39. Основные процессы, характеризующие взаимодействие электрической систем и выключателей высокого напряжения. Расчет восстанавливающих напряжений; принципы выбора выключателей по условиям отключения к.з.
40. Основные методы и схемы испытания аппаратов на коммутационную способность; испытательные режимы, обеспечение достоверности условий работы аппаратов.
41. Модели механической части электропривода.
42. Механическая часть электропривода как объект регулирования. Структурная схема, передаточные функции, частотные характеристики.
43. Особенности двухмассовых и многомассовых электромеханических систем.
44. Естественная и искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения.
45. Естественная и искусственные механические характеристики двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.
46. Способы регулирования скорости двигателя постоянного тока с независимым возбуждением.
47. Способы регулирования скорости двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.
48. Естественные и искусственные механические характеристики асинхронных двигателей.
49. Математическое описание и структурные схемы разомкнутых электромеханических систем (на примере двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и двухмассовой механической части).
50. Способы регулирования скорости асинхронных двигателей и их оценка.
51. Методы исследования тепловых процессов в асинхронных электродвигателях.
52. Номинальные тепловые режимы работы электродвигателей.
53. Методы снижения потерь в электроприводе.
54. Энергосберегающие технологии на основе электропривода переменного тока.
55. Элементы систем управления электроприводами. Операционные усилители, особенности построения, разновидности, использование для построения регуляторов.
56. Элементы цифровых систем управления. Микроконтроллеры.
57. Принципы построения систем подчиненного регулирования с последовательной коррекцией. Передаточные функции контуров регулирования и регуляторов. Переходные и частотные характеристики контуров.
58. Принципы ограничения координат в системах подчиненного регулирования.

59. Принципы построения систем управления позиционных электроприводов. Синтез регулятора контура положения при малых перемещениях. Статические и динамические характеристики.
60. Системы управления позиционных электроприводов с нелинейным регулятором положения. Особенности расчета характеристики нелинейного регулятора положения.
61. Особенности скалярного управления асинхронными электроприводами.
62. Структура системы автоматического регулирования скорости тиристорного асинхронного электропривода с фазовым управлением. Статические и динамические характеристики.
63. Особенности построения векторных систем частотно-управляемых электроприводов.
64. Методы синтеза цифровых регуляторов электропривода.
65. Функциональные и структурные схемы цифровых регуляторов скорости.
66. Преобразователи для электроприводов с двигателями постоянного тока.
67. Преобразователи для электроприводов с двигателями переменного тока.

### **Дисциплина специализации: Электроэнергетика**

1. Прогнозирование электропотребления в ЭЭС в задачах оперативно-диспетчерского управления.
2. Структура оперативно-диспетчерского управления в ЭЭС России. Задачи оперативно-диспетчерского управления. Основные ограничения на режим работы энергосистемы. Контрольные пункты по напряжению, их назначение. Требования по регулированию напряжения в ЭЭС России.
3. Сечение, виды сечений. Поиск опасных сечений.
4. Связь области существования режима и области устойчивости энергосистемы. Предельный режим энергосистемы. Запасы по устойчивости.
5. Алгоритмы формирования ограничений на режим работы энергосистемы с целью обеспечения надежности работы энергосистемы.
6. Информационное обеспечение задач АСДУ. Источники погрешности и обработка первичной информации. Наблюдаемость ЭЭС, критерии. Расстановка ТИ для обеспечения наблюдаемости и расчетов режимов в темпе реального процесса.
7. Замеры сигналов цифровым устройством. Дискретизация по времени. Дискретизация по уровню.
8. Способы вычисления векторов тока и напряжения (действующих значений и фаз) для устройств РЗА. Способы вычисления частоты сигнала для устройств РЗА.
9. Частотные фильтры. Назначение. Принцип действия.
10. Разложение Фурье. Назначение. Принцип действия.
11. Задача оценивания состояния ЭЭС, Линейное и нелинейное ОС.
12. Синхронизированные векторные измерения в ЭЭС.
13. Натуральная мощность и волновое сопротивление передачи. Распределение напряжения вдоль ЛЭП. Реактивная мощность.
14. Особенности режимов линий длиной в  $\frac{1}{2}$  и  $\frac{1}{4}$  волны.
15. Компенсация и настройка параметров ЛЭП. Способы увеличения пропускной способности ЛЭП.
16. Передачи постоянного тока. Преимущества и недостатки.
17. Источники первичной энергии. Закономерности и динамика мирового регионального потребления различных видов энергии. Структура баланса мощности и баланса энергии электроэнергетических систем по типам генерации.

18. Экологическое влияние различных типов электрических станций. Выбросы, загрязняющих веществ, использование водных ресурсов, размещение твердых отходов.
19. Экономический аспект энергетической безопасности.
20. Особые режимы работы электрических сетей. Несимметричные, несинусоидальные. Геоиндуцированные режимы.
21. Надежность ЭЭС, ее составные свойства. Основные показатели. Ущерб от недоотпуска электроэнергии и его определение.
22. Структурная надежность ЭЭС, Структурно-функциональные показатели.
23. Режимная надежность ЭЭС, Определение управляющих воздействий и их оптимизация по критерию минимизации ущерба.
24. Балансовая надежность ЭЭС и описание дефицита мощности.
25. Основные энергетические характеристики, используемые при оптимизации режима ЭЭС.
26. Относительный прирост потерь мощности. Оптимизация режима с учетом поправки на потерю мощности.
27. Экономичное распределение нагрузки между параллельно работающими агрегатами. Использование критерия оптимальности для планирования режима.
28. Особенности измерения сигналов в условиях короткого замыкания.
29. Общая структура алгоритма расчета переходных процессов в электроэнергетических системах.
30. Электромагнитный переходный процесс в обмотке возбуждения синхронной машины и переходные процессы в демпферных контурах (физическая картина процессов и ее математическое описание)
31. Физические процессы в турбине и их моделирование.
32. Основные опасные факторы снижения частоты. Опасность повышения частоты в энергосистеме. Требования к поддержанию частоты в ЕЭС России в квазиустановившихся режимах.
33. Функции системы АОСЧ, состав входящих в нее автоматик, применяемые управляющие воздействия. Функции, виды, принцип работы, выбор уставки АЧР. Динамический отклик энергосистемы на возникновение дефицита активной мощности при учете работы АЧР.
34. Распределение активной мощности между отдельными генераторами и электростанциями.
35. Организация автоматического регулирования частоты и активной мощности в ЭЭС, ОЭС, ЕЭС.
36. Влияние механизмов собственных нужд и тепловой автоматики на работу энергоблоков. Требования к схемам СН и особенности их выполнения.
37. Варианты выделения электростанции на изолированную работы с избытком активной мощности. Функционирование и выбор параметров срабатывания ЧДА. Особенности функционирования делительной автоматики малой мощности. Адаптивная ЧДА.
38. Регулирование напряжения и реактивной мощности в ЭЭС.
39. Основные режимные параметры, допустимость которых обеспечивает работа автоматики. Назначение и виды противоаварийной автоматики. Основные требования, предъявляемые к противоаварийной автоматике.

#### **Дисциплина специализации: Электротехнология и электрофизика**

1. Электронагрев. Тенденции развития. Основные преимущества. Первичная и вторичная энергия Полный КПД процесса. Основные виды электронагрева. Области применения.

2. Способы передачи теплоты. Количественные характеристики переноса теплоты. Температурное поле.
3. Теплопередача излучением. Механизм передачи тепла. Лучистый теплообмен. Теплообмен излучением между твёрдыми телами. Взаимная поверхность излучения. Частные случаи.
4. Уравнения теплопроводности и общем виде. Переход к одномерной стационарной задаче. Уравнение теплопроводности для плоской и цилиндрической стенки при стационарном режиме.
5. Уравнение теплопроводности. Численные методы расчета температур в двумерной области.
6. Конвективный теплообмен. Единственная и вынужденная конвекция. Коэффициент теплоотдачи. Термическое сопротивление теплоотдачи.
7. Тепловой расчет электротехнологических установок с помощью эквивалентных тепловых схем.
8. Основные типы электрических печей сопротивления периодического и непрерывного действия. Конструкции, рабочие температуры, применяемые нагревательные элементы, среда в рабочем пространстве, напряжения, мощности. Назначение муфеля.
9. Электropечи с контролируемыми атмосферами. Группы процессов, связанных с нагревом металла, при которых целесообразно применение контролируемых атмосфер (термическая обработка изделий, химико-термическая обработки изделий, специальные технологические процессы); основные контролируемые атмосферы, области их применения.
10. Энергетическая диаграмма индукционной электротехнологической установки.
11. Классификация и область применения индукционных канальных печей (ИКП) и индукционных тигельных печей (ИТП). Принцип действия и назначение. Особенности плавки различных металлов и сплавов.
12. Основные и конструктивные элементы индукционной канальной печи (ИКП) и индукционной тигельной печи (ИТП). Достоинства и недостатки. Циркуляция металла. Расчет тепловой энергии, необходимой для расплавления металла (с использованием теплоемкости, скрытой теплоты плавления, теплосодержания, энтальпии). Производительность. Коэффициент полезного действия. Расчет мощности.
13. Уравнения токов и электрического состояния индукционных канальных печей (ИКП). Схема замещения и векторная диаграмма ИКП.
14. Расчет частоты питающей сети для индукционной тигельной печи (ИТП). Выбор преобразователя частоты и электropечного трансформатора для ИТП.
15. Принципы симметрирования однофазных электротехнологических установок (симметрирующая схема Штейнмеца, симметрирующая схема с реактором-делителем), работа симметрирующих устройств при переменной нагрузке.
16. Назначение и виды компенсаций реактивной мощности (продольная, поперечная). Особенности компенсации реактивной мощности ЭТУ.
17. Устройство электромагнитного воздействия на жидкие металлы (насосы, дозаторы, желоба, устройства электромагнитного перемешивания жидких металлов).
18. Диэлектрический нагрев. Принцип действия. Области применения.
19. Численные методы расчета электромагнитных полей. Метод конечных разностей. Метод конечных элементов.
20. Вектор Пойтинга в металлическом полупространстве. Активные и реактивные мощности.
21. Сопротивление шины и двухслойного проводника переменного тока.
22. Классификация и назначение дуговых печей. Дуговые сталеплавильные печи (ДСП), область их применения (основной и кислый процессы). Основные конструктивные элементы ДСП. Короткая сеть дуговой сталеплавильной печи.

23. Рудно-термическая печь. Принцип действия. Особенности конструкции. Короткая сеть рудно-термической печи. Особенности печных подстанций и коротких сетей рудно-термической печи. Конструкция вакуумных дуговых печей с расходуемым электродом. Кристаллизаторы. Рабочий процесс.
24. Электрошлаковые процессы: электрошлаковая плавка, наплавка, сварка.
25. Электролиз алюминия и меди.
26. Электрические методы в системах пылегазоочистки.
27. Электрические и магнитные методы для обработки водных систем.
28. Электрические и магнитные методы сепарации сыпучих материалов.
29. Типы регуляторов, используемых в системе управления электрических печей сопротивления. Их влияние на показатели качества процессов.
30. Электромагнитная совместимость. Причины возникновения, влияние на работу электроприемников, меры по снижению несинусоидальности напряжения.

#### **Дисциплина специализации: Энергетические системы и комплексы**

1. Место энергетики РФ в мировой энергетике.
2. Энергетические ресурсы и топливно-энергетический баланс страны.
3. Единая энергетическая система и ее народнохозяйственное значение.
4. Теплофикация и ее энергетическое, экономическое, экологическое и социальное значение.
5. Структура энергетических мощностей России.
6. Классификация и технологические схемы ТЭС разных типов.
7. Определение расходов теплоты, пара и топлива при раздельном и комбинированном методах энергоснабжения.
8. Электрические и тепловые нагрузки и их покрытие. Методы покрытия пиков электрических и тепловых нагрузок.
9. Применяемые тепловые схемы ТЭС и их характеристики.
10. Методы оценки необратимых потерь в элементах тепловой схемы ТЭС.
11. Регенеративный подогрев питательной воды и его влияние на тепловую экономичность.
12. Зависимость тепловой экономичности ТЭС от начальных параметров пара, параметров промперегрева, температуры питательной воды, температуры сетевой воды, температуры конденсации отработанного пара.
13. Применяемые тепловые схемы газотурбинных и парогазовых установок и их энергетические характеристики.
14. Современные схемы ПГУ.
15. Основные системы теплоснабжения и их характеристики. Основное оборудование систем теплоснабжения. Применяемые теплоносители и их энергетическая характеристика.
16. Методы регулирования отпуска теплоты. Выбор параметров теплоносителя. Влияние коэффициента теплофикации на расчетные параметры теплоносителя. Схемы и режимы совместной работы ТЭЦ и пиковых котельных.
17. Водный баланс КЭС и ТЭЦ. Источники и системы водоснабжения и их характеристики. Обработка циркуляционной воды и методы борьбы с загрязнением конденсаторов.
18. Общая классификация и характеристика современных энергетических и теплогенерирующих котлоагрегатов.
19. Схемы и оборудование для генерации пара и теплоты на атомных электростанциях.

20. Основные методы сжигания органического топлива разных видов. Тепловой баланс и КПД котельного агрегата.
21. Водный режим и основные требования к водоподготовке.
22. Высоконапорные парогенераторы.
23. Принципиальные тепловые схемы паротурбинных установок КЭС и ТЭЦ. Классификация и основные типы турбин ТЭС и АЭС. Основные потери и коэффициенты полезного действия турбинной ступени и турбинной установки в целом.
24. Теплообменное оборудование системы регенеративного подогрева питательной воды. Термические деаэраторы, испарители, вспомогательные теплообменники, их назначение и схемы включения.
25. Методы доставки органического топлива различных видов. Классификация, состав и техническая характеристика топлива и его влияние на схему и оборудование топливного хозяйства электростанции.
26. Основы теории горения. Сведения о кинетике химических реакций.
27. Механизмы горения газового, жидкого и твердого топлив. Кинетическая и диффузионная области горения. Воспламенение и распространение пламени в горючих смесях. Горение углерода. Горение жидкого и твердого природных топлив.
28. Аэродинамические основы горения топлива. Закономерности распространения турбулентных струй газа.
29. Пути интенсификации процессов сжигания топлива. Повышение давления в топочной камере. Применение обогащенного дутья.
30. Перспективы управления топочными процессами в направлении уменьшения выбросов, вредных для биосферы.
31. Газификация твердых топлив и ее использования на ТЭС.
32. Основные воздействия ТЭС на окружающую среду; влияние различных технологий сжигания топлива. Связь типа и схем ТЭС с проблемами воздействия на почву, атмосферу, гидросферу и климат.
33. Технологические способы снижения воздействия ТЭС на окружающую среду. Технологии очистки стоков и сбросов ТЭС. Проблема утилизации твердых отходов.
34. Перспективные схемы ТЭС и ограничения их использования. Методы снижения концентрации оксидов серы и азота в уходящих газах ТЭС. Анализ целесообразности применения тех или иных технологий очистки дымовых газов на ТЭС разных типов. Пути утилизации твердых отходов ТЭС.
35. Экономические проблемы применения природоохранных технологий на ТЭС. Перспективы совместной работы ТЭС и установок получения энергии за счет нетрадиционных и возобновляемых источников.
36. Структура кипящего слоя, его аэродинамические особенности. Процесс выноса мелкозернистого материала из слоя. Условия равномерного псевдооживления.
37. Тепло– и массообмен между газом и частицами.
38. Высокотемпературное и низкотемпературное сжигание топлив. Возможность сжигания топлив в кипящем слое с целью уменьшения уровня выхода оксидов азота. Возможность связывания серы при сжигании сернистых топлив. Котлы с кипящим и циркулирующим кипящим слоем.
39. Аэродинамика закрученного потока в циклонно-вихревых камерах (ЦВК). Особенности движения двухфазного потока на его структуру и характеристики ЦВК, в том числе, золы и шлака в циклонной камере при горении топлива.

40. Вихревые горелки (ВГ), их назначение, характеристики и цель применения. Структура закрученного факела основных типов ВГ.
41. Взаимодействие индивидуальных факелов горелок и управление тепломассообменом в топке и в газовом тракте котла вихревыми горелками. Проблемы организации управляемого процесса в индивидуальном факеле горелки. Аэродинамические способы управления структурой потока.
42. Механизмы, формирующие закрученный поток и его турбулентную структуру. Применение управляющих вдувов и струйных систем на структуру закрученного потока.
43. Организация стадийного сжигания и сжигания топлива в восстановительной атмосфере закрученного факела. Схемы экономически и экологически оптимального сжигания топлива в закрученных факелах на котлах современных ТЭС.
44. Энерготехнология. Термическая переработка твердых топлив. Сущность и виды процессов газификации.
45. Типы и особенности работы газогенераторов и области применения искусственных газов. Современные схемы применения газогенераторных технологий в энергетике.
46. Технологические и экологические аспекты работы энергетического оборудования с внутрицикловой газификацией на низкокалорийных ископаемых топливах и биомассе. Безмазутная растопка твердотопливных котлов.
47. Солнечные энергетические установки. Характеристики солнечного излучения.
48. Солнечные фотоэлектрические преобразователи. Конструкция ФЭП. Методы получения «солнечного» кремния.
49. Солнечные коллекторы. Солнечные электрические станции.
50. Геотермальная энергетика. Тепловой режим земной коры. Месторождения геотермальных источников. Геотермальные электростанции.
51. Ветроэнергетика. Ресурсы ветровой энергии. Виды преобразователей ветровой энергии. Ветроэлектрические станции.
52. Малая гидроэнергетика. Классификация малых ГЭС и гидроагрегатов. Способы создания напора.
53. Воздействие установок возобновляемой энергетики на окружающую среду – почву, атмосферу, гидросферу и климат.
54. Зависимость тепловой экономичности теплонасосных установок от температуры источника теплоты.

### **Дисциплина специализации: Техническая и прикладная теплотехника**

#### **Раздел 1. Техническая термодинамика**

1. Идеальный газ. Параметры состояния и уравнение состояния идеальных газов.
2. Геометрическое представление уравнения состояния. Диаграммы состояния.
3. Работа и теплота термодинамического процесса. Вычисление количеств работы и теплоты в термодинамике. Изображение работы и теплоты на диаграммах состояния.
4. Энтальпия термодинамической системы. Полезная внешняя работа.
5. Теплоемкость термодинамического процесса. Факторы, влияющие на теплоемкость.
6. Вычисление газовой постоянной и молекулярной массы смеси идеальных газов.
7. Математическое выражение первого начала термодинамики. Внутренняя энергия. Вычисление внутренней энергии идеального газа.

8. Второе начало термодинамики в формулировках Клаузиуса и Томсона. Вечный двигатель второго рода. Эквивалентность формулировок. Математическое выражение II начала термодинамики.
9. Дифференциальные уравнения внутренней энергии и энтальпии. Закон Джоуля. Соотношение Майера. Вычисление изменения термодинамических функций.
10. Уравнение политропного процесса и его анализ. Политропный процесс идеального газа и его частные случаи – изобарный, изохорный, изотермический и адиабатный процессы. Изображение процессов на диаграммах состояния.
11. Термодинамический анализ работы компрессора.
12. Первый закон термодинамики для систем с переменной массой. Свободная энергия Гиббса (изобарный потенциал). Химический потенциал и его свойства.
13. Термодинамика фазовых переходов. Фазы и компоненты. Фазовая диаграмма  $p$ - $t$ . Условия фазового равновесия для системы жидкость - пар.
14. Изображение процессов парообразования и конденсации на диаграммах состояния  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ . Таблицы воды и водяного пара. Вычисление параметров влажного пара. Степень сухости.
15. Процессы водяного пара. Расчёт процессов. Изображение на диаграммах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ .
16. Термодинамика потока вещества. Приближения, используемые при термодинамическом описании течения газов и паров в каналах.
17. Основные законы для потока: первое начало термодинамики в представлениях Лагранжа и Эйлера, второе начало термодинамики, закон сохранения массы.
18. Уравнение баланса механической энергии в потоке. Работа проталкивания. Сопло и диффузор
19. Скорость звука. Режимы течения. Число Маха.
20. Уравнение обращения воздействия и его анализ. Типы сопел.
21. Термодинамика геометрического сопла. Вычисление скорости истечения и массового расхода при адиабатическом течении газов и паров в каналах. Критическое отношение давлений.
22. Расчет процессов истечения из суживающегося сопла и сопла Лаваля для идеального газа и водяного пара.
23. Энтальпия и температура адиабатического торможения потока.
24. Дросселирование. Дифференциальный и интегральный дроссель – эффекты. Параметры инверсии. Особенности дросселирования идеального газа.
25. Основные законы термодинамики для циклов. Термический КПД цикла. Среднеинтегральная температура процесса. Выражение для термического КПД через среднеинтегральные температуры и его анализ.
26. Цикл Карно. Карно. Теоремы Карно. Регенерация теплоты.
27. Циклы газотурбинных установок. Схема установки и ее расчет.
28. Цикл ГТУ  $p = \text{const}$  с регенерацией тепла. Расчёт термического КПД.
29. Цикл ГТУ  $p = \text{const}$  с учётом потерь в компрессоре и в турбине. Относительные внутренние КПД компрессора и турбины. Расчет внутреннего КПД цикла.
30. Цикл Карно в области влажного пара. Схема паротурбинной установки. Недостатки цикла Карно.
31. Простейшая схема паросиловой установки, работающей по циклу Ренкина. Расчет и изображение цикла на диаграммах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ . Зависимость КПД от параметров пара.
32. Теплофикационный цикл Ренкина с противодавлением. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ .
33. Цикл Ренкина с отбором пара на регенерацию. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $p$ - $v$ ,  $T$ - $s$ ,  $h$ - $s$ .

34. Цикл Ренкина с отбором пара на теплофикацию. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $p-v$ ,  $T-s$ ,  $h-s$ .
35. Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара. Схема установки, расчёт, изображение в диаграммах  $p-v$ ,  $T-s$ ,  $h-s$ .
36. Эксергия термодинамических систем.
37. Нетрадиционные методы получения электрической энергии.

## **Раздел 2. Основы тепло- и массообмена**

38. Способы переноса теплоты в пространстве.
39. Процессы теплоотдачи и теплопередачи. Физический смысл коэффициента теплоотдачи.
40. Молекулярный и конвективный массообмен.
41. Изотропная и анизотропная среда.
42. Температурное поле.
43. Температурный градиент.
44. Основной закон теплопроводности.
45. Физический смысл коэффициента теплопроводности.
46. Дифференциальное уравнение теплопроводности для твердого тела. Физический смысл коэффициента температуропроводности.
47. Условия однозначности для процесса теплопроводности.
48. Теплопроводность при стационарном режиме в отсутствие внутренних источников теплоты:
  - a. Теплопроводность плоской стенки при граничных условиях первого рода;
  - b. Теплопроводность плоской стенки при граничных условиях третьего рода;
  - c. Коэффициент теплопередачи;
  - d. Теплопроводность цилиндрической стенки при граничных условиях первого рода;
  - e. Теплопроводность цилиндрической стенки при граничных условиях третьего рода;
  - f. Линейный коэффициент теплопередачи;
  - g. Теплопроводность тел неправильной формы;
  - h. Критический диаметр тепловой изоляции.
49. Способы интенсификации теплопередачи.
50. Теплопередача через ребристую стенку (приближенный расчет).
51. Теплопроводность в ребре постоянного поперечного сечения.
52. Теплопередача через ребристую стенку (уточненный расчет).
53. Коэффициент эффективности работы ребра.
54. Теплопроводность при стационарном режиме при наличии внутренних источников теплоты:
  - a. Теплопроводность плоской стенки с внутренними источниками теплоты;
  - b. Теплопроводность однородного цилиндрического стержня с внутренними источниками теплоты.
55. Теплопроводность при нестационарном режиме:
  - a. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины;
  - b. Частные случаи нагревания (охлаждения) бесконечной пластины;
  - c. Физический смысл безразмерных чисел Био и Фурье;
  - d. Определение теплоты, отданной (полученной) пластиной в процессе охлаждения (нагревания);
  - e. Характерный размер, входящий в безразмерные числа Био и Фурье;
  - f. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров правильной геометрической формы;
  - g. Охлаждение (нагревание) тел любой формы при  $Bi \rightarrow 0$  ( $Bi \leq 0,1$ );

- h. Регулярный тепловой режим;
  - i. Первая теорема Кондратьева;
  - j. Вторая теорема Кондратьева.
56. Основные положения конвективного теплообмена: уравнение теплоотдачи; виды движения жидкости; режимы движения жидкости; понятие пограничного слоя; физические свойства жидкости существенные для процесса теплоотдачи (динамическая и кинематическая вязкость, коэффициент сжатия, коэффициент объемного расширения).
57. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена (уравнение теплоотдачи, уравнение энергии, уравнение движения, уравнение неразрывности потока).
58. Элементы теории подобия. Приведение дифференциальных уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Безразмерные числа Нуссельта, Рейнольдса, Пекле, Прандтля, Грасгофа, Эйлера их физический смысл. Определяющий геометрический размер и определяющая температура Теоремы подобия. Моделирование процессов конвективного теплообмена. Проведение эксперимента, обработка и обобщение опытных данных.
59. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости:
- a. Интегральное уравнение теплового потока через пограничный слой;
  - b. Связь теплоотдачи с касательными напряжениями (аналогия Рейнольдса);
  - c. Влияние направления теплового потока на величину коэффициента теплоотдачи;
60. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости вдоль плоской поверхности.
- a. Теплоотдача при ламинарном режиме движения жидкости вдоль плоской поверхности. Анализ формулы;
  - b. Теплоотдача при турбулентном режиме движения жидкости вдоль плоской поверхности. Анализ формулы;
61. Теплоотдача при движении жидкости внутри труб и каналов: определяющий геометрический размер; понятие участка гидродинамической и тепловой стабилизации; аналитический метод расчета теплоотдачи при стабилизированном течении жидкости в трубе.
- a. Теплоотдача при ламинарном режиме движения жидкости в трубе.
  - b. Теплоотдача при турбулентном режиме движения жидкости в трубе. Анализ формулы;
62. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании одиночной трубы и пучка труб.
63. Свободная конвекция в неограниченном пространстве:
- a. Теплоотдача при свободном ламинарном движении жидкости вдоль вертикальной стенки;
  - b. Теплоотдача при свободном турбулентном режиме движения жидкости вдоль вертикальной стенки. Анализ формулы;
  - c. Теплоотдача при свободном движении жидкости около горизонтальной трубы;
  - d. Теплоотдача при свободном движении жидкости около горизонтальной плиты.
64. Теплоотдача при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.
65. Теплообмен при фазовых превращениях:
- a. Теплоотдача при конденсации водяного пара на вертикальной поверхности;
  - b. Факторы, влияющие на теплообмен при конденсации;
66. Теплоотдача при кипении жидкости в большом объеме; условия, необходимые для возникновения процесса кипения; влияние перегрева жидкости на величину коэффициента теплоотдачи; кризисы кипения. Теплоотдача при кипении жидкости, движущейся внутри трубы.
67. Теплообмен излучением. Основные положения лучистого теплообмена: виды тепловых потоков (интегральный поток, излучательная способность, спектральная плотность излучения, угловая плотность потока излучения, яркость излучения); разновидности полусферического излучения; связь эффективного и результирующего излучения; законы теплового излучения

(закон Планка, закон смещения Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Кирхгофа, закон косинусов Ламберта).

68. Теплообмен излучением между двумя телами с плоскопараллельными поверхностями.

69. Теплообмен излучением между двумя телами с плоскопараллельными поверхностями при наличии между ними экранов.

70. Теплообмен излучением между телом и его оболочкой.

71. Излучение газов и паров.

72. Теплообмен между поглощающей газовой средой и твердой поверхностью.

73. Сложный теплообмен.

74. Теплообменные аппараты. Классификация теплообменных аппаратов по принципу действия. Схемы движения теплоносителей. Тепловой расчет рекуперативного теплообменного аппарата: виды тепловых расчетов; основные положения теплового расчета (уравнение теплового баланса, уравнение теплопередачи, среднеинтегральный температурный напор). Сравнение прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей.

75. Молекулярный массообмен: массовая и мольная концентрация; градиент концентрации; закон Фика; физический смысл коэффициента диффузии; запись закона Фика через парциальное давление; вычисление плотности потока массы.

76. Конвективный массообмен в инертной двухкомпонентной среде. Диффузионный пограничный слой. Уравнение массоотдачи. Дифференциальное уравнение массообмена. Аналогия между процессами тепло-и массообмена. Безразмерные числа Шервуда и Шмидта.

### Раздел 3. Теплоэнергетические установки

77. Энергетические ресурсы и топливно-энергетический комплекс. Эффективность энергетического производства.

78. Теплотехнические измерения в теплоэнергетике. Контроль, регистрация и регулирование в теплоэнергетических системах.

79. Тепловой баланс котла. Примерные величины основных потерь.

80. КПД котла по прямому балансу.

81. КПД котла по обратному балансу.

82. Что такое располагаемая теплота топлива?

83. Теплота сгорания  $Q_n^p$  и  $Q_v^p$ . Как они определяются?

84. Что такое условное топливо?

85. Как рассчитывается энтальпия продуктов сгорания?

86. Как влияет коэффициент избытка воздуха на потери в котельном агрегате?

87. Как влияет коэффициент избытка воздуха на теоретическую температуру горения?

88. Как влияет нагрузка котла на потери в котельном агрегате?

89. Как влияет увеличение присосов воздуха по тракту топливоиспользующего устройства на коэффициент полезного действия агрегата?

90. Каковы концентрационные пределы распространения пламени для смеси природный газ-воздух?

91. От каких основных эксплуатационных параметров зависят удельные тепловые напряжения зеркала горения и объема топki?

92. За счет чего создается движущая сила естественной циркуляции?

93. Что такое кратность циркуляции?

94. Виды пароперегревателей по характеру тепловосприятия.

95. Способы регулирования температуры перегретого пара в паровых котлах.
96. Какие поверхности котла относят к низкотемпературным?
97. Способы, позволяющие снизить низкотемпературную коррозию воздухоподогревателей.
98. Перечислите вредные выбросы из котла и укажите методы их снижения.
99. К чему может привести погасание факела в топке котла?
100. Назначение и виды тягодутьевых устройств.
101. Схемы подачи воздуха и удаления продуктов сгорания в котельных установках.
102. Регулирование производительности тягодутьевого оборудования.
103. Что такое самотяга и как ее посчитать?
104. Дымовые трубы: назначение, виды, проблемы эксплуатации.
105. Задачи водного режима. Требования к питательной воде и накипеобразование. Системы подготовки питательной воды. Водный режим барабанных котлов. Ступенчатое испарение. Продувка котла. Требования к чистоте пара. Причины загрязнения пара. Унос влаги с паром. Сепарация и промывка пара. Как рассчитать величину непрерывной продувки?
106. Термическая деаэрация.
107. Устройство и работа деаэрационной колонки.
108. Элементы парового водотрубного котла.
109. Арматура котельной установки.
110. Сепарационные устройства.
111. Гарнитура котла.
112. Котлы с естественной циркуляцией.
113. Прямоточные котлы.
114. Паровые котлы комбинированных энергоустановок.
115. Котлы-утилизаторы газотурбинных установок.
116. Как повлияет на работу электрофильтра и циклона увеличение скорости дымовых газов?
117. Основные способы снижения концентрации оксидов азота в продуктах сгорания?
118. Технологическое потребление пара и горячей воды. Характерные режимы и графики теплотребления, используемые теплоносители, их параметры.
119. Методы определения расчетной потребности в паре и горячей воде для технологических нужд.
120. Горячее водоснабжение промпредприятий и бытовых потребителей.
121. Графики потребления воды на горячее водоснабжение.
122. Возможные методы регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения; их сопоставление.
123. Центральное регулирование однородной и разнородной тепловой нагрузки, присоединенной к водяным тепловым сетям промпредприятий.
124. Графики температур воды и расхода теплоносителя. Методы центрального регулирования суммарных нагрузок отопления и горячего водоснабжения.
125. Солнечные энергетические установки. Характеристики солнечного излучения. Солнечные коллекторы. Солнечные электрические станции.
126. Геотермальная энергетика. Тепловой режим земной коры. Месторождения геотермальных источников. Геотермальные электростанции.
127. Ветроэнергетика. Ресурсы ветровой энергии. Виды преобразователей ветровой энергии. Ветроэлектрические станции.

#### **Раздел 4. Промышленная теплоэнергетика**

128. Сравнительная оценка воды, водяного пара и дымовых газов как теплоносителей и ориентировочный диапазон их скоростей в теплообменных аппаратах.
129. В каком теплообменнике текущая отпускаемая тепловая мощность может быть выше подводимой?
130. Для каких теплоносителей выше затраты мощности на перемещение в каналах – газообразных или капельных жидкостей?
131. В каком из теплообменников- кожухотрубном или подогревателе – аккумуляторе – выше коэффициент теплопередачи при использовании одних и тех же теплоносителей с одинаковыми начальными температурами?
132. Основные схемы взаимного движения теплоносителей в аппарате.
133. Чем ограничивается скорость течения теплоносителей в аппарате?
134. С какой целью применяются различные методы интенсификации теплообмена?
135. Почему необходимо удаление растворенных в паре и воде неконденсирующихся газов?
136. Вследствие влияния каких факторов возникают термические напряжения в трубках и корпусе аппарата?
137. Какие конструктивные решения позволяют скомпенсировать термические напряжения в аппаратах?
138. С какой целью производится расчет корпуса теплообменного аппарата на устойчивость?
139. Какие материалы применяются для теплообменных поверхностей аппаратов?
140. Перечислите основные требования к конструкции теплообменного аппарата.
141. Для каких целей проводят гидравлические испытания аппаратов?
142. Какие показатели характеризуют тепловую эффективность и термодинамическое совершенство теплообменного аппарата?
143. С какой стороны теплообменной поверхности целесообразно интенсифицировать теплообмен?
144. За счет чего пластинчатые теплообменники имеют более высокую интенсивность теплообмена по сравнению с обычными кожухотрубными аппаратами?
145. Определение и классификация трансформаторов теплоты.
146. Основные потребители искусственного холода.
147. Энергетическая ценность теплоты и холода.
148. Схема и процесс работы идеального парокompрессионного трансформатора теплоты.
149. Схема реального парокompрессионного трансформатора теплоты и процессы, определяющие его цикл.
150. Построение реального цикла одноступенчатого парокompрессионного трансформатора теплоты в тепловых диаграммах TS-, iS-, lgPi -.
151. Сопоставление схем и процессов цикла идеального и реального парокompрессионных трансформаторов теплоты.
152. Сопоставление удельных затрат работы для идеального и реального парокompрессионных трансформаторов теплоты при равенстве температур для верхнего и для нижнего источников.
153. Расчёт реальной парокompрессионной одноступенчатой холодильной машины.
154. Расчёт реального парокompрессионного одноступенчатого теплового насоса.
155. Уравнение теплового баланса и коэффициенты преобразования парокompрессионного трансформатора теплоты.
156. Анализ эффективности использования одноступенчатых и двухступенчатых тепловых насосов в системах теплоснабжения.

157. Причины, обуславливающие необходимость регулирования трансформаторов теплоты.
158. Способы регулирования мощности трансформаторов теплоты.
159. Идеальный газовый цикл трансформатора теплоты с теплообменом по изобарам.
160. Реальный газовый цикл трансформатора теплоты.
161. Регенерация теплоты в идеальном газовом цикле.
162. Сопоставление идеального и реального газовых циклов трансформаторов теплоты.
163. Сопоставление энергетических затрат в идеальном и реальном газовых циклах при равенстве температур нижних и верхних источников.
164. Регенерация теплоты в реальном газовом цикле холодильной машины.
165. Газовая холодильная машина с разомкнутым циклом под наддувом.
166. Разомкнутый цикл газовой холодильной машины под разрежением.
167. Идеальный абсорбционный трансформатор теплоты.
168. Реальный одноступенчатый абсорбционный трансформатор теплоты и процесс его работы в  $i$ -диаграмме.
169. Сопоставление идеального и реального одноступенчатого абсорбционного трансформаторов теплоты.
170. Реальный одноступенчатый абсорбционный трансформатор теплоты с двухступенчатым генератором.
171. Реальный одноступенчатый абсорбционный трансформатор теплоты и процесс его работы в  $i$ -диаграмме.
172. Схема работы бромисто-литиевой абсорбционной установки.
173. Работа реальной абсорбционной установки периодического действия.
174. Что такое помпаж и как его избежать?
175. Для чего служат промежуточные и концевые холодильники в компрессоре?
176. Промышленные энергоносители, их свойства и применение в процессах тепломассообмена.
177. Угледородные газы: основные понятия, законы и соотношения.
178. Нормы расхода и режимы потребления угледородных газов.
179. Структура газотранспортной системы.
180. Назначение и классификация газорегуляторных пунктов (ГРП) и установок (ГРУ).
181. Оборудование ГРУ и ГРП.
182. Определение расчетного расхода газа. Топливный режим.
183. Гидравлический расчет промышленных систем газоснабжения.
184. Схемы газоснабжения предприятий от городских газопроводов.
185. Газоснабжение цехов. Требования к агрегатам, использующим газовое топливо.
186. Газовое оборудование котлов.
187. Газовое оборудование сушильных установок.
188. Применение газовых горелок инфракрасного излучения для отопления.
189. Особенности газоснабжения ГТУ, ПГУ и ГПА.
190. Основные схемы сжижения природного газа.
191. Установки регазификации СПГ.
192. Способы регазификации СУГ. Установки регазификации СУГ.
193. Подготовка СУГ к сжиганию в котлах.
194. Правила безопасности в газовом хозяйстве.
195. Помпаж и способы борьбы с ним.
196. Работа лопастных нагнетателей на сеть. Параллельное и последовательное соединение нагнетателей.

197. Осевые и радиальные силы в центробежных нагнетателях. Способы компенсации.
198. Подводы и отводы центробежных нагнетателей.
199. Устройство и принцип работы роторных нагнетателей.
200. Устройство и принцип работы струйных нагнетателей.
201. Компрессорный процесс. Способы повышения энергетической эффективности сжатия газа.
202. Многоступенчатое сжатие. Выбор оптимальной степени повышения давления в многоступенчатом компрессоре.
203. Охлаждение компрессорных машин.
204. КПД компрессора.
205. Принципиальная схема, принцип работы и область применения поршневых компрессоров.
206. Индикаторная диаграмма поршневого компрессора.
207. Рабочие параметры поршневых компрессоров.
208. Основные конструктивные схемы поршневых компрессоров.
209. Регулирование производительности поршневых компрессоров.
210. Схема поршневой компрессорной установки.
211. Центробежные компрессоры. Схемы, рабочие параметры и область применения.
212. Схема центробежной компрессорной установки.
213. Винтовые компрессоры. Схемы, рабочие параметры и область применения.
214. Схема винтовой компрессорной установки.
215. Осевые компрессоры. Схемы, рабочие параметры и область применения.
216. Кавитация в насосах. Влияние кавитации на характеристики насосов.
217. Расчет допустимой высоты всасывания насоса.
218. Классификация и применение насосов в энергетике.
219. Конструкции и рабочие параметры насосов общего назначения.
220. Конструкции и рабочие параметры питательных насосов.
221. Конструкции и рабочие параметры конденсатных насосов.
222. Конструкции и рабочие параметры сетевых насосов.
223. Конструкции и рабочие параметры циркуляционных насосов.
224. Способы регулирования лопастных насосов.
225. Выбор насоса.
226. Схема насосной установки.
227. Классификация и применение вентиляторов в энергетике.
228. Основные конструктивные элементы и рабочие параметры центробежных вентиляторов.
229. Самотяга вентиляционной системы и ее влияние на параметры тягодутьевых машин.
230. Влияние механических примесей на работу вентилятора.
231. Основные конструктивные элементы и рабочие параметры центробежных вентиляторов.
232. Аэродинамические схемы вентиляторов. Безразмерные параметры и характеристики.
233. Способы регулирования тягодутьевых машин.
234. Выбор тягодутьевых устройств.
235. Принцип действия и основные элементы ступени турбины.
236. Сопловая и рабочая решетка ступени турбины. Кинематика потока в ступени.
237. Термодинамический процесс ступени турбины. Преобразование энергии в ступени.
238. Активная и реактивная ступени турбины. Степень реактивности ступени.
239. Ступени давления и ступени скорости паровой турбины.

240. Регулирующая ступень паровой турбины. Парциальный подвод пара. Степень парциальности.
241. Преимущества многоступенчатых турбин.
242. Классификация и маркировка многоступенчатых турбин.
243. Подвод пара к турбине. Схемы парораспределения.
244. Проточная часть многоступенчатой турбины. Деление турбины на части.
245. Возврат теплоты. Коэффициент возврата теплоты многоступенчатой турбины.
246. Режимы работы паровой турбины. Работа турбины при переменном режиме.
247. Регулирование паровых турбин.
248. Статическая характеристика регулирования.
249. Регулируемые и нерегулируемые отборы пара в многоступенчатой паровой турбине. Стандартные параметры пара.
250. Теплофикация. Теплофикационные турбины.
251. Показатели экономичности паротурбинных установок.
252. Способы повышения эффективности цикла паротурбинной установки.
253. Горючие ВЭР.
254. Газообразные горючие ВЭР.
255. Огневое обезвреживание горючих шламов металлургических производств.
256. Водотрубные котлы-утилизаторы
257. Газотрубные котлы-утилизаторы.
258. Тепловой расчет котлов-утилизаторов
259. КУ за обжиговыми печами серного колчедана
260. Установки сухого тушения кокса.
261. Тепловой баланс УСТК
262. Определение объема камеры сухого тушения кокса.
263. Котлы-утилизаторы охладители конверторных газов.
264. Энерготехнологические комбинирование в прокатном производстве.
265. Содорегенерационный энерготехнологический агрегат.
266. Энерготехнологическое комбинирование при получении водорода
267. Энерготехнологическое комбинирование в доменном производстве.
268. Основные типы ПГУ
269. Термическая эффективность ПГУ.
270. Количественные показатели термодинамических циклов ПГУ.
271. ПГУ со впрыском пара
272. Соотношения между параметрами газового и парового цикла в ПГУ.
273. Паровые аккумуляторы низкого давления.
274. Паровые аккумуляторы высокого давления.
275. Утилизация теплоты загрязненных жидкостей в аппаратах мгновенного вскипания.
276. Охлаждение агрессивных жидкостей.
277. Влажный воздух и влажные продукты сгорания природного газа.
278. Определение температуры мокрого термометра.
279. Определение температуры точки росы.
280. Контактные теплообменники с керамической насадкой
281. Расчет контактного теплообменника с керамической насадкой
282. Газотурбинная расширительная станция
283. Энергосбережение в котельных.

284. Энергосбережение в котельных и тепловых сетях

285. Системы инфракрасного обогрева помещений

### **Дисциплина специализации: Турбомашинны и поршневые двигатели**

1. Исторические вехи создания и развития тепловых двигателей (ТД); область применения.
2. Жизненный цикл ТД; основные этапы, их взаимное влияние.
3. Особенности разработки, изготовления (производства) и эксплуатации ТД.
4. Особенности работы ТД на ТЭС, АЭС, КС и в промышленности.
5. Сравнительные технико-экономические показатели ТД.
6. Изменение объемов и показателей выработки электроэнергии на всех видах электростанций.
7. Основные производители энергетического оборудования в РФ; ряды типоразмеров оборудования.
8. Новые современные технологии для энергетики.
9. Пути (методы) Государственного влияния на эффективность и надежность энергетики и энергомашиностроения.
10. Структура и производственный потенциал российского энергетического машиностроения.
11. Приоритетные направления научно-технического прогресса в российском энергетическом машиностроении.
12. Применение новых материалов в энергетическом машиностроении.
13. Проблемы обеспечения надежности в электроэнергетике.
14. Колебания валопровода. Критическая частота вращения. Классификация роторов по гибкости.
15. Причины повышенной вибрации турбомашин. Причины возникновения низкочастотных и высокочастотных колебаний.
16. Основные положения балансировки жестких роторов. Необходимые и достаточные условия полной балансировки жесткого ротора.
17. Необходимые и достаточные условия полной балансировки гибкого ротора. Уравновешивание роторов по ДКВ и по собственным формам.
18. Методы и средства диагностики. Спектр колебаний. Методы спектрального анализа
19. Назначение, особенности методологии функционального моделирования в нотации IDEF0.
20. Реинжиниринг бизнес процессов. Цели, задачи, методы на примере проектирования изделий энергетического машиностроения.
21. История и перспективы развития автоматизированного проектирования. Понятия. Термины. Объекты проектирования и автоматизации.
22. Виды обеспечения САПР. Комплексы средств автоматизации проектирования.
23. Информационные системы в машиностроении (обзор, основные возможности).
24. Назначение компьютеризованных систем САХ: решение инженерных задач (CAE), конструирование (CAD), управление технологическими процессами (CAM).
25. Математическое моделирование как методология решения прикладных задач с применением компьютерных программ.
26. Метод конечных элементов как основной метод численного анализа термических напряжений в деталях двигателей.
27. Виды экспериментальных исследований. Измерение параметров: температур, давлений, расходов. Измерение мощности и крутящего момента.
28. Основные направления пусконаладочных работ на тепловых электростанциях.

29. Показатели тепловой экономичности турбоустановок (удельный расход пара, удельный расход теплоты, удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении, удельный расход условного топлива).
30. Тепловые характеристики паротурбинных установок (общие положения).
31. Тепловая характеристика турбоустановки с турбинами конденсационного типа в аналитической и графической формах.
32. Диаграмма режимов турбины с одним регулируемым отбором пара.
33. Цели и задачи тепловых испытаний паровых турбин ТЭС.
34. Структура процесса расчетного исследования физических процессов в элементах турбомашин.
35. Преимущества и недостатки использования расчетного метода исследования при сопоставлении его с натурным экспериментом.
36. Типовые звенья систем автоматического регулирования: пропорциональное, интегрирующее, апериодическое первого порядка. Передаточные функции указанных звеньев.
37. Соединения типовых звеньев: последовательное, параллельное, с обратной связью. Получение передаточной функции системы из передаточных функций составляющих ее элементов.
38. Типовые законы регулирования: пропорциональный, интегральный, дифференциальный. Влияние типовых регуляторов на работу системы автоматического регулирования.
39. Частотные характеристики элементов САР. Их связь с передаточной функцией элемента. Амплитудно-фазовая частотная характеристика апериодического звена 1-го порядка.
40. Переменный режим ступени паровой турбины. Изменение расхода пара через турбинную ступень при изменении параметров пара перед и за ступенью.
41. Изменение КПД турбинной ступени при изменении режима работы. Холостой ход ступени. Переход ступени в режим потребления мощности.
42. Регулирующая ступень турбины, ее отличие от других ступеней. Влияние характеристик регулирующей ступени на экономичность турбины в переменных режимах. Диаграммы изменения КПД и мощности РС в зависимости от расхода пара и их расчет.
43. Распределение давлений и теплоперепадов в отсеке проточной части турбины при переменных режимах работы.
44. Сравнительная характеристика дроссельного и соплового парораспределения при регулировании мощности турбины методом постоянного давления: преимущества и недостатки каждого из них. Область применения.
45. Способы регулирования мощности турбины, работающей в составе энергоблока.
46. Метод скользящего давления как способ регулирования мощности паровой турбины; достоинства и недостатки.
47. Графики электрических нагрузок современных энергосистем; их основные характеристики.
48. Диапазон нагрузок паротурбинного энергоблока, факторы, определяющие технический минимум нагрузки. Технические минимумы нагрузки различных энергоблоков.
49. Классификация режимов пуска энергоблока. Влияние характеристик естественного остывания на режим пуска энергоблока.
50. Классификация режимов остановки энергоблока. Остановка с естественным остыванием и принудительным расхолаживанием паровой турбины. Основные достоинства и недостатки.
51. Особенности пуска турбины и блока из горячего состояния, из неостывшего состояния, из холодного состояния.

52. Основные системы ПТУ. Краткое описание оборудования, входящего в систему, особенности работы.
53. Технологические операции и критерии, определяющие пуск турбины с номинальными параметрами пара. Классификация режимов пуска турбин.
54. Останов турбины. Способы останова. Кривая выбега ротора.
55. Особенности эксплуатации теплофикационных паровых турбин.
56. Эксплуатационные показатели паровых турбин.
57. Современные представления о направлениях совершенствования теплообменников ПТУ.
58. Повышение экологической безопасности системы маслоснабжения ПТУ.
59. Показатели эффективности теплообменных аппаратов турбоустановок: конденсаторы, подогреватели сетевой воды (горизонтальные, вертикальные), подогреватели системы регенеративного подогрева питательной воды.
60. Влияние эффективности подогревателей сетевой воды на технико-экономические показатели работы теплофикационных турбин.
61. Методы повышения надежности, экологической безопасности маслоохладителей и системы маслоснабжения турбин.
62. Назначение и основные функции конденсатора в технологической схеме паротурбинной установки. Технологические подсистемы конденсационной установки – назначение, функции, оборудование.
63. Впрыск воды в проточную часть ОК ГТУ. Преимущества и недостатки, влияние на режим ГТУ.
64. Одновальные ГТЭ с моноротором компрессор-турбина. Преимущества и недостатки
65. Теплофикационные ГТЭ.
66. Контактные газопаровые установки.
67. Характеристики ГТУ на переменных режимах при постоянной и переменной температуре атмосферного воздуха. Приведенные параметры ГТУ.
68. Требования к ГТУ, работающей в составе бинарной ПГУ и методы для достижения этих требований.
69. Задачи эксплуатации ГТУ и ГПА.
70. Эксплуатационные характеристики ГТУ и ГПА (технико-экономические показатели работы ГТУ и ЦБН).
71. Пусковые режимы работы ГПА. Подготовка к пуску и этапы пуска ГПА.
72. Режимы останова ГПА. Этапы алгоритма останова ГПА.
73. Состав и принцип работы систем регулирования частоты вращения современных микропроцессорных САУ (систем автоматического управления) ГТУ ГПА.
74. Классификация теплообменных аппаратов. Основы процессов, протекающих в теплообменных аппаратах. Схемы течения теплоносителей.
75. Основные элементы конструкций теплообменных аппаратов. Основные требования к теплообменникам.
76. Классификация и конструкции камер сгорания ГТУ. Принципы организации процессов в камерах сгорания ГТУ. Требования к камерам сгорания ГТУ.

#### **4. Критерии оценки знаний претендентов на поступление в аспирантуру по научным специальностям группы 2.4 – Энергетика и электротехника**

Оценка ответов претендентов на поступление в аспирантуру по данной группе научных специальностей производится по 100-балльной шкале и выставляется согласно критериям, представленным в таблице 1.

Таблица 1 – Критерии оценки ответов претендентов при поступлении в аспирантуру

Оценка	Критерии
80 – 100 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ответы на поставленные вопросы излагаются логично, последовательно и не требуют дополнительных пояснений.</li> <li>2. Демонстрируются глубокие знания по дисциплине.</li> <li>3. Делаются обоснованные выводы.</li> <li>4. Ответы самостоятельные, при ответе использованы знания, приобретённые ранее.</li> </ol>
60 – 79 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ответы на поставленные вопросы излагаются систематизировано и последовательно.</li> <li>2. Демонстрируется умение анализировать материал, однако, не все выводы носят аргументированный и доказательный характер.</li> <li>3. Материал излагается уверенно, в основном правильно даны все определения и понятия.</li> <li>4. Допущены небольшие неточности при выводах и использовании терминов.</li> </ol>
30 – 59 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Допускаются нарушения в последовательности изложения при ответе.</li> <li>2. Демонстрируются поверхностные знания по дисциплине.</li> <li>3. Имеются затруднения с выводами.</li> <li>4. Определения и понятия даны не чётко.</li> </ol>
0 – 29 баллов	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материал излагается непоследовательно, сбивчиво, не представляет определенной системы знаний по дисциплине.</li> <li>2. Не даны ответы на дополнительные вопросы комиссии.</li> <li>3. Допущены грубые ошибки в определениях и понятиях.</li> </ol>

#### **5. Список рекомендуемой литературы (основная и дополнительная)**

**Дисциплина специализации: Электротехнические комплексы и системы**

Основная литература

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы. – СПб.: Питер. 2007. 320 с.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины переменного тока. – СПб.: Питер. 2007. 350 с.
3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Т. 1. М.: Из-во МЭИ. 2004. 652 с.
4. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. Т. 2. М.: Из-во МЭИ. 2004. 532 с.



5. Копылов И.П. Электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 2006. 607 с.
6. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. – М.: Академия, 2006. 320 с.
7. Электрические и электронные аппараты: в 2-х т. / А.П. Бурман, А.А. Кваснюк, Ю.С. Коробков и др. – М.: изд. центр Академия, 2010.
8. Ильинский Н.Ф. Основы электроприводы: уч. пособие. -2-ое издание. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. 224 с.
9. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: уч. пособие. – М.: изд. центр «Академия». 2006. 223 с.
10. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: уч. пособие / В.А. Новиков и др. – М.: изд. центр «Академия». 2006. 394 с.
11. Ильинский Н.Ф., Москаленко В.В. Электропривод. Ресурсосбережение. – М.: Изд-во «Академия». 2006. 215 с.
12. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ГОУ ВПО ИГЭУ. 2008
13. Шрейнер Р.Т. и др. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного управления. – Екатеринбург: ГОУ ВПО РГУППУ. 2008.
14. Ишматов З.Ш. Микропроцессорное управление электроприводами и технологическими объектами. Полиномиальные методы. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2007. 278 с.
15. Doncker R.D., Pule D.W.J., Veltman A. Advanced Electrical Drives. Analysis, Modeling, Control. London, New York: Springer. 2011.

Дополнительная литература

16. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Изд-во МЭИ. 2003. 424 с.
17. Проектирование электрических машин: Учеб. Пособие для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клюков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев: Под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2002. – 757 с.: ил.
18. Аветисян Д.А. Автоматизация проектирования электротехнических систем и устройств. – М.: Высшая школа, 2005. 511 с.
19. Абрамов А.И., Иванов-Смоленский А.В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. М.: Высшая школа, 2001, 389 с.
20. Извеков В.И. Проектирование турбогенераторов: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению. «Электроэнергетика» / В.ю, Извеков, Н.А. Серихин, А.И. Абрамов. – М.: Изд-во МЭИ. 2005. – 440 с.: ил.
21. Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах. – М.: Высшая школа, 1989. 239 с.
22. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах. Л.: Энергоатомиздат. 1986. 256 с.
23. Сипайлов Г.А., Кононенко Е.В., Хорьков К.А. Электрические машины (специальный курс). – М.: Высшая школа. 1987. 286 с.
24. Котеленец Н.Ф., Акимова Н.А., Антонов М.В. Испытание, эксплуатация и ремонт электрических машин. – М.: Академия, 2003. 384 с.
25. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин. – М.: Высшая школа. 2000. 255 с.
26. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин. – М.: Изд-во МЭИ. 2006. 432 с.

27. Основы теории электрических аппаратов / под ред. Проф. Таева И.С. М.: Высшая школа, 1987. 352 с.
28. Теория электрических аппаратов / под ред. Проф. Александрова Г.Н. – Л.: Изд-во СПб ГТУ, 2000.
29. Таев И.С. Электрические аппараты управления. – М.: высшая школа, 1984.
30. Электрические аппараты высокого напряжения. / Под ред. Александрова Г.Н. – Изд-во СПб ГТУ, 2001.
31. Чунихин А.А., Жаворонков. Аппараты высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
32. Шопен Л.В. Бесконтактные электрические аппараты автоматики. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
33. Электрические и электронные аппараты. Учебник для вузов / Под ред. Розанова Ю.К. – М.: Энергоатомиздат, 2001. 752 с.
34. Шоффа В.Н. Герконы и герконовые аппараты. Справочнику Изд-во МЭИ, 1993ю
35. Проектирование электрических аппаратов. / под ред. проф. Александрова Г.Н. – Л.: Энергоатомиздат, 1985.
36. Технология электроаппаратостроения. / под ред. Ю.А. Филиппова. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.
37. И.П. Юренков. Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. – М.: Высшая школа, 1985.
38. Переходные процессы в электрических машинах и аппаратах и вопросы их проектирования под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 2001. 512 с.
39. В.В. Базуткин и др. Техника высоких напряжений. – М.: Энергоатомиздат, 1986.
40. Справочник по электрическим аппаратам высокого напряжения. / под ред. В.В. Афанасьева – Л.: Энергоатомиздат, 1987.
41. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
42. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. – М.: Энергоатомиздаст, 1986. 527 с.
43. Брускин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины ч. 1. 283 с., ч. 2 304 с. Высшая школа. 1987.
44. Орлов И.Н., Маслов С.И. Системы автоматизированного проектирования электромеханических устройств. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 227 с.
45. Справочник по электрическим машинам: в 2 томах / Под редакцией И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энерноатомиздат, 1988. 456 с.
46. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1984. 408 с.
47. Атабеков В.Б. Ремонт трансформаторов, электрических машин и аппаратов. – М.: Высшая школа, 1994. 384 с.
48. Ефименко Е.И. Новые методы исследования машин переменного тока и их приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1993. 283 с.
49. Борисенко А.И., Данько В.Г., Яковлев А.И. Аэродинамика и теплопередача в электрических машинах. – М.: «Энергия». 1974. 560 с.
50. Онищенко Г.Б. Электрический привод: уч. пособие. – М. РАСХН. 2003. 320 с.
51. Энергосберегающий асинхронный электропривод: уч. пособие / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М.: изд. центр «Академия». 2004. 256 с.
52. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Изд-во «Академия». 2006. 204 с.

53. Ключев В.И. Теория электропривода: учебник. – М.: Энергоатомиздат. 2001. 704 с.
54. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода, учебник. – М.: Энергоатомиздат. 2000. 496 с.
55. Осипов О.И. Частотно-регулируемый асинхронных электропривод: уч. пособие. – М.: изд-во МЭИ. 2005. 302 с.
56. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: учебник. – М.: изд. центр «Академия». 2005. 198 с.
57. Усынин Ю.С. Системы управления электроприводов: уч. пособие. – Челябинск: изд-во ЮУГУ. 2004. 150 с.
58. Белов М.Г., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: уч. пособие. – М.: изд. центр «Академия». 2004. 574 с.
59. Онищенко Г.Б. и др. Автоматизированный электропривод промышленных установок: уч. пособие. – М.: РАСХН. 2001. 520 с.
60. Вейнгер А.М. Регулируемый синхронный электропривод. – М.: Энергоатомиздат. 1985. 224 с.
61. Браславский И.Я. Асинхронных электропривод с параметрическим управления. – М.: Энергоатомиздат. 1988. 224 с.
62. Поздеев А.Д. Электромагнитные и электромеханические процессы в частотнорегулируемых асинхронных электроприводах. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. 1998. 172 с.
63. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН. 2000. 654 с.
64. Бесекерский В.А., Изранцев В.В. Системы автоматического управления с микроЭВМ. – М.: Наука. 1987.
65. Лихошерст В.И. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии для электроприводов с двигателями постоянного тока: учебное пособие. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2001. 80 с.
66. Теория автоматического управления: учебник для вузов: в 2-х ч. / Под редакцией А.А. Воронова – М.: Высшая школа. 1986. 368 с.
67. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука. 1975. 768 с.
68. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под редакцией В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат. 1983. 61 с.
69. Розанов Ю.К. Основы силовой электроники. – М.: Энергоатомиздат. 1992.
70. Панкратов В.В., Зима Е.А. Энергооптимальное векторное управление асинхронными электроприводами: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. 2005.
71. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Харьков: Основа. 2004.
72. Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т. Экстремальное управление электрическими двигателями. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2006. 420 с.

## Дисциплина специализации: Электроэнергетика

### Основная литература

1. Пименова Т.Ф., Insights into Electrical and Power Engineering Terminology, УрФУ, 2012.
2. А.Д. Гладун. Фундаментальные основы наукоемких технологий. Цикл лекций : [учебное пособие] /А. Д. Гладун . – Долгопрудный : Интеллект, 2015 . – 104 с. : ил. – ISBN 978-5-91559-200-0.
3. Г.Ф, Быстрицкий. Общая энергетика (Производство тепловой и электрической энергии) : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» и 140200 «Электроэнергетика» / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков . – 2-е изд., стер. – Москва : КНОРУС, 2014 . – 408 с. : ил.
4. Л.К. Осика. Инжиниринг объектов интеллектуальной энергетической системы. Проектирование. Строительство. Бизнес и управление : практическое пособие / Л. К. Осика . – Москва : Издательский дом МЭИ, 2014 . – 779 с. : ил.

### Дополнительная литература

1. Бартоломей П.И., Паздерин А.В., Паниковская Т.Ю., Шелюг С.Н. Теория и практика в оптимизации режимов ЭЭС: Уч.пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009.
2. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем, М.: Издательский дом МЭИ, 2009ш., 476 с., ил. Учебник для вузов, 3-е изд., испр. Под ред. Чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. А.Ф. Дьякова
3. Бартоломей П.И. Паниковская Т.Ю. Оптимизация режимов энергосистем. Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ. 2008. 164 с.
4. Бартоломей П.И., Ерохин П.М., Неуймин В.Г., Паниковская Т.Ю. Конкуренетные рынки электроэнергии. Учебное пособие. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2006 г. 88 с.
5. Дьяков А.Ф., Окин А.А., Семенов В.А. Диспетчерское управление мощными энергообъединениями.- М.: Изд. МЭИ, 1996.- 224с.
6. Дьяков А.Ф., Моржин Ю.И., Рабинович М.А. Режимный тренажер КАСКАД для диспетчера энергосистем и объединений. – М.: Изд. МЭИ, 1996 – 168с.
7. Окин А.А., Семенов В.А. Противоаварийное управление ЕЭС России. – М.: Изд. МЭИ., 1996. – 156с.
8. Забегалов В.А., Орнов В.Г., Семенов В.А. Автоматизированные системы диспетчерского управления в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1984.-264с.
9. Орнов В.Г., Рабинович М.А. Задачи оперативного и автоматического управления энергосистемами. – М.: Энергоатомиздат,1988. – 223с.
10. Тугевич В.Н. Телемеханика: Уч. Пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1985.
11. Методы решения задач реального времени в электроэнергетике/ Под ред. А.З. Гамма и М.Н. Розанова. – Новосибирск: Наука, 1991.
12. Бартоломей П.И. Информационное обеспечение задач АСДУ энергосистем: Уч. пособие. Екатеринбург: изд. УГТУ, 1998.
13. Арзамасцев Д.А., Бартоломей П.И., Холян А.М. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. М.: Высшая школа, 1983.

## Дисциплина специализации: Электротехнология и электрофизика

### Основная литература

1. Электрические печи сопротивления. Теплопередача и расчеты / В.С. Чередниченко, А.С. Бородачев, В.Д. Артемьев. – Новосибирск: изд-во НГТУ. 2006. 624 с.
2. Электрические печи сопротивления. Конструкция и эксплуатация / В.С. Чередниченко, А.С. Бородачев, В.Д. Артемьев. – Новосибирск: изд-во НГТУ. 2006. 572 с.
3. Источники питания высокочастотных электротермических установок / А.С. Васильев, Г. Конрад, С.В. Дзлийев. – Новосибирск: изд-во НГТУ. 2006. 426 с.
4. Электроконтактный нагрев / А.И. Алиферов, С. Лупи. – Новосибирск: изд-во НГТУ. 2004. 224 с.
5. Чередниченко В.С. Установки электрошлаковой металлургической технологии. – Новосибирск: изд-во НГТУ. 2007. 408 с.
6. Плазменные электротехнологические установки / под ред. В.С. Чередниченко. – Новосибирск: изд-во НГТУ. 2005. 508 с.
7. Коняев А.Ю. Электротехнологические методы и установки природоохранных технологий. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ. 2007. 101 с.
8. Методы конечных элементов и конечных разностей в электромеханике и электротехнологии / Ф.Н. Сарапулов, С.Ф. Сарапулов, О.Ю. Сидоров. – М.: Энергоатомиздат. 2010. 331 с.
9. Структурное моделирование электротехнологических систем и механизмов / В.А. Иванушкин, Ф.Н. Сарапулов, В.Н. Кржеуров, Д.В. Исаков. – Н.Тагил: НТИ(ф) УГТУ-УПИ. 2007. 393 с.
10. Моделирование тепловых и электромагнитных процессов в электротехнических установках. Программа Comsol / под ред. Ф.Н. Сарапулова. – М.: изд-во Спутник. 2011. 158 с.
11. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета / А.Ю. Коняев, И.А. Коняев, Н.М. Маркин, С.Л. Назаров. – Екатеринбург: УрФУ. 2012. 104 с.

### Дополнительная литература

12. Болотов А.В., Шепель Г.А. Электротермические установки. – Алма-Ата.: «Мектеп». 1983. 335 с.
13. Электротехнологические промышленные установки / Евтюкова И.П. др. – М.: Энергоиздат. 1982. 400 с.
14. Электрические промышленные печи. Дуговые печи и установки специального нагрева. / Свенчанский А.Д., Жердев И.Т., Кручинин А.М. и др. Учебник для вузов. – М. Энергоиздат. 1981.
15. Васильев А.С., Гуревич С.Г., Иоффе И.С. Источники питания электротермических установок. – М.: Энергоатомиздат. 1985.
16. Установки индукционного нагрева / Под ред. А.С. Соухоцкого. – Л.: Энергоиздат. 1981. 328 с.
17. Автоматическое управление электротермическими установками / А.М. Кручинин, А.М. Миронов, К.М. Махмудов, В.П. Рубцов, А.Д. Свенчанский. – М.: Энергоатомиздат. 1986. 416 с.

18. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. – М.: Энергоатомиздат. 1988. 200 с.
19. Общепромышленные электропечи периодического действия / А.В. Арендарчук, А.С. Бородачев, В.И. Филиппов. – М.: Энергоатомиздат. 1990. 232 с.
20. Энциклопедия низкотемпературной плазмы. Том 2. / Под. ред. В.Е. Фортова. (раздел «Генераторы низкотемпературной плазмы», авт. С.В. Древсин, стр. 280)
21. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат. 1984. 124 с.
22. Вольдек А.И. Индукционные магнитогидродинамические машины с жидкометаллическим рабочим телом. – Л.: Энергия. 1970. 272 с.
23. Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. – М.: Энергоатомиздат. 1991. 256 с.

#### **Дисциплина специализации: Энергетические системы и комплексы**

##### Основная литература

1. Газогенераторные технологии в энергетике. Монография / А.В. Зайцев, А.Ф. Рыжков, В.Е. Силин и др.; под редакцией А.Ф. Рыжкова. — Екатеринбург: типография ООО «ИРА УТК», 2010. — 611 с.
2. Алхасов. А.Б. Возобновляемая энергетика. М.: Физматлит, 2010.
3. Инновационные технологии в энергетике/под общ. ред. Н.В. Ключковой. –Иваново: Научная мысль. 2011.
4. Назмеев Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС: учебное пособие для ВУЗов. М.: МЭИ, 2010.
5. Л.Е. Стернин. Основы газовой динамики. М.: Вузовская книга, 2012. 332 с.
6. Делягин Г.Н. Теплогенерирующие установки: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. /Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков, П.А. Хаванов – М.: ООО «ИД БАСТЕТ», 2010. – 624 с.
7. Теплотехника: Учеб. для вузов / Под ред А.П. Баскакова, 3-е изд. перераб. / М.: ООО «ИД «БАСТЕТ»». 2010. 328 с.
8. Р.Ш. Загрутдинов, А.Н. Нагорнов, А.Ф. Рыжков, П.К. Сеначин. Технологии газификации в плотном слое: Монография/ Под ред. П.К. Сеначина. Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. 296 с.
9. Biofuel's Engineering Process Technology/ Ryzhkov A.F., Silin V.E.Bogatova T.F., Popov A.V., Usova G.I. — Croatia: InTech, 2011. 732 p. (<http://www.intechopen.com/books/biofuel-s-engineering-process-technology/the-effect-of-thermal-pretreatment-process-on-bio-fuel-conversion>)
10. Бруяка В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учебное пособие. / Бруяка В.А., В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов.-Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2010. 271с.
11. Морозов Е.М. ANSYS в руках инженера: Механика разрушения Морозов Е.М., Муйземнек А.Ю., Шадский А.С. - М.: ЛЕНАНД, 2010. - 456 с.
12. Велькин В.И. Возобновляемая энергетика и энергосбережение: учебник / В.И. Велькин, Я.М. Щелоков, С.Е. Щеклеин; под общ. Ред. Проф., д-ра техн. наук В.И. Велькина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2020. – 312 с.

#### Дополнительная литература

1. Жоров Ю.М. Термодинамика химических процессов – М.: Химия, 1985.
2. Основы практической теории горения: учеб. пособие для вузов / В.В. Померанцев [и др.], – под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. от-ние, – 1986.
3. Изюмов М.А., Росляков П.В. Проектирование и расчет горелок. – М.: МЭИ, 1990.
4. Канторович Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – М.: Изд-во АН СССР, 1958.
5. Зельдович Я. Б., Баренблатт Г. И., Либрович В. Б., Махвиладзе Г. М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980.
6. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов – М.: Энергоатомиздат. 1990.
7. Хитрин Л.Н. Физика горения и взрыва / Л.Н. Хитрин – М.: Изд-во МГУ, 1957.
8. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела / В.И. Бабий, Ю.Ф. Куваев – М.: Энергоатомиздат, 1986.
9. Кнорре Д. Г., Эмануэль Н. М. Курс химической кинетики. 4-е издание, М.: Высшая школа, 1984.
10. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
11. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 840 с.
12. Булеев Н.И. Пространственная модель турбулентного обмена. М.: Наука, 1989. 343 с.

#### Дисциплина специализации: Техническая и прикладная теплотехника

##### Раздел 1. Техническая термодинамика

###### Основная литература

1. Теплотехника: Учеб. для вузов / Под ред А.П. Баскакова, 3-е изд. перераб. / М.: ООО «ИД «БАСТЕТ»». 2010. 328 с.
2. Техническая термодинамика: учебное пособие в 2-х ч. / А.В. Островская, Е.М. Толмачев, В.С. Белоусов, С.А. Нейская. Екатеринбург: УрФУ, 2010.

###### Дополнительная литература

1. Теплотехника: Учебник для втузов /од общ. ред. А.М. Архарова и В.Н. Афанасьева. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 712 с.
2. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 158 с.
3. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин С.А. Техническая термодинамика. М.: Наука, 1991. 512 с.
4. Базаров И.П. Термодинамика. М.: Высшая школа, 1991, 376 с.
5. Сборник задач по технической термодинамике / Андрианова Т.М., Дзампов Б.В., Зубарев В.Н., Ремизов С.А. М.: Энергия, 2000. 240 с.
6. Александров А.А., Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 168 с.

## **Раздел 2. Основы тепло- и массообмена**

### Основная литература

1. Дульнев Г.Н., Тихонов С.В. Основы теории тепломассообмена. СПбГУ ИТМО, 2010. 93 с.
2. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена: Процессы переноса в движущейся среде. – 3-е изд. М.: URSS, 2010.

### Дополнительная литература

1. Сапожников Б. Г. Тепломассообмен: учеб. пособие; науч. ред. В. С. Белоусова. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2007. 188 с.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1987. 416 с.
3. Королев В.Н., Мамаев В.В. Тепломассообмен. Изд. УГЛА, 2000
4. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: учебное пособие для вузов / Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев. М.: МЭИ, 2005. 550 с.
5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. Новосибирск: Наука, 1989. 416 с.
6. Краснощеков В.А. Задачник по теплопередаче / В.А. Краснощеков, А.С. Сукомел. М.: Энергия, 1981. 264 с.

## **Раздел 3. Теплоэнергетические установки**

### Основная литература

1. Назмеев Ю.Г. Теплообменные аппараты ТЭС: учебное пособие для ВУЗов. М.: МЭИ, 2010.
2. Делягин Г.Н. Теплогенерирующие установки: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков, П.А. Хаванов – М.: ООО «ИД БАСТЕТ», 2010. – 624 с.
3. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии/ Учеб. для вузов / А.П. Баскаков, В.А. Мунц М.: «ИД»БАСТЕТ», 2013. 356 с.
4. Магадеев В.Ш. Источники и системы теплоснабжения / В.Ш. Магадеев. М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. 272 с.
5. Сазанов Б.В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. 275 с.

### Дополнительная литература

1. Теплообменники энергетических установок: учеб. для студентов вузов. / [К. Э. Арсон, С. Н. Блинков, В. И. Брезгин и др.]; под общ. ред. Ю. М. Бродова. - Изд. 2-е, испр. и доп. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 816 с.
2. Яковлев Б.В. Повышение эффективности систем теплофикации и теплоснабжения / Б.В. Яковлев. М.: Новости теплоснабжения, 2008. 448 с.
3. Хзмалян Д. М. Теория топочных процессов: Учебное пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 352 с.
4. Померанцев В. В. Основы практической теории горения. Л.: Энергия, 1973. 264 с.
5. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергия, 1975.
6. Стерман Л.С., Покровский В.Н. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС: Учебник. М.: Энергоатомиздат, 1991. 232 с.

7. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1990. 254 с.
8. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков В.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. Москва, Химия, 1981 год.
9. Промышленные теплообменные процессы и установки. Бакластов А.М. и др. // Учебник для вузов по спец. «Промышленная теплоэнергетика». -М.: Энергоиздат, 1986. - 326 с.
10. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. Учебник для студентов технических вузов. - 2-е изд., перераб.- М.: Энергия, 1972. 320 с.
11. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий. Учебник. М.: Энергоатомиздат, 1988.
12. Котлы-утилизаторы и энерготехнологические агрегаты/ А.П. Воинов, В.А. Зайцев, Л.И. Куперман; под ред. Л.Н. Сидельковского. М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.

#### **Раздел 4. Промышленная теплоэнергетика**

##### Основная литература

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учебник для вузов / О.Л. Данилов, А.Б. Горяев, И.В. Яковлев и др.; под ред. А.В. Клименко. – 2-е изд., стер. – М.: МЭИ, 2011. 424 с.
2. Данилов О.Л., Мунц В.А. Использование вторичных энергетических ресурсов. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 154 с.
3. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Основы энергосбережения. – Екатеринбург: Институт энергосбережения, 2008. 526 с.
4. Сжатый воздух. Ю.В. Кузнецов, М. Ю. Кузнецов, А.А. Березий. Екатеринбург, УрО РАН, 2012. 554 с.
5. Ионин А.А. Газоснабжение: Учеб. для вузов. СПб.: Изд. «Лань», 2012. 448 с.
6. Скафтымов Н. А. Основы газоснабжения. Минск: Изд. ЭКОЛИТ, 2012. 344 с.
7. Основы проектирования и эксплуатации систем газораспределения и газопотребления: Учебное пособие. /О. Б. Колибаба, В. Ф. Никишов, М. Ю. Ометова. – СПб.: Изд. «Лань», 2013. 208 с.
8. Парамонов А.М., Стариков А.П. Системы воздухообеспечения предприятий. СПб.: Лань, 2011. 160 с.

##### Дополнительная литература

13. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. Ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 2004. 632 с.
14. Данилов Н.И., Щелоков Я.М. Энциклопедия энергосбережения. – Екатеринбург: Сократ, 2004. 368 с.
15. Бармин И.В., Кунис И.Д. Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра. /Под ред. А.М. Архарова. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 256 с.
16. Российская газовая энциклопедия. /Под ред. Р.И. Вяхирева. М.: Науч. изд. «Большая Российская энциклопедия», 2004. 527 с.
17. Рихтер Л.А., Волков Э.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС, Москва, Энергоиздат, 1981 год.
18. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий. -М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.

## Дисциплина специализации: Турбомашин и поршневые двигатели

### Основная литература

1. Костюк А.Г. Паровые и газовые турбины для электростанций. (Электронный ресурс) Учебник для вузов / Костюк А.Г., Фролов В.В., Булкин А.Е., Трухний А.Д. М.: Издательский дом МЭИ. 2016
2. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. - М.: МЭИ, 2007. 476с.
3. Баринберг Г.Д. и др. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода, изд. 2-е, перераб. и доп. Екатеринбург, «Априо», 2010. -488с.
4. Теплообменники энергетических установок: учебник для вузов . <https://openedu.urfu.ru/files/book/index.html>
5. Ремонт и техническое обслуживание оборудования паротурбинных установок / Бродов Ю.М., Аронсон К.Э., Гофман Ю.М. и др. // Справочник в 2-х т. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 1125 с. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/58614>
6. Материалы конференции «Авиадвигатели XXI века». М.: ЦИАМ, 2010.
7. ГОСТ Р 52782-2007. Установки газотурбинные. Методы испытаний. Приемочные испытания

### Дополнительная литература

8. Инструкция по программному обеспечению Ansys CFX, 2012.
9. Инструкция по программному обеспечению Numeca FINE Turbo, 2012.
10. Урьев Е.В. Вибрационная надежность и диагностика турбомашин. Часть I. Вибрация и балансировка, 2 издание (исправленное и дополненное): Учебное пособие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 200с.
11. Щегляев А.В. Паровые турбины. Теория теплового процесса и конструкция турбин: Учебник для ВУЗов: 82 кн. Кн.2 -6-е изд. перераб., доп., подгот. к печати Б.М.Трояновским. М.: Энергоатомиздат, 1993. 416 с.5
12. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. М.: Энергоиздат, 1982. 494 с.
13. Зарицкий С.П. Лопатин А.С. Диагностика газоперекачивающих агрегатов. Учебное пособие ( в частях) – М. РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003
14. Ольховский Г. Г. Энергетические газотурбинные установки. М.: Энергоатомиздат, 1985. 304 с.
15. Ревзин Б. С. Газоперекачивающие агрегаты с газотурбинным приводом. Учебное пособие. Екатеринбург.: УГТУ-УПИ. 269 с.
16. Энергетические машины и установки : учебное пособие / В.Л. Блинов ; Мин-во науки и высш. образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020.— 128 с
17. Проскураков Г. В. Приводные ГТУ и конвертированные ГТД для транспорта газа. Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1990. 168 с.
18. Стационарные газотурбинные установки /под ред. Арсеньева Л. В. и Тырышкина В. Г./ Л.: Машиностроение, 1989. 543 с.
19. Кампсти Н. Аэродинамика компрессоров. М.: Мир, 2000, 688 с.
20. Сироткин Я.А. Аэродинамический расчёт лопаток осевых турбомашин. М.: Машиностроение. 1972, 448 с.
21. ЦИАМ. Работы ведущих авиадвигательных компаний по созданию перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Москва 2004.

22. Ольховский Г.Г. Тепловые испытания стационарных газотурбинных установок. - М.: Энергия, 1971. - 408 с.

## **6. Рекомендуемые Интернет-ресурсы**

### **Дисциплина специализации: Электротехнические комплексы и системы**

<https://new.siemens.com/ru/ru.html> - сайт ООО «Сименс» в России  
<https://new.abb.com/ru> - сайт компании АBB в России  
<https://www.se.com/ru/ru/> - сайт Schneider Electric в России

### **Дисциплина специализации: Электроэнергетика**

<https://www.so-ups.ru/> - сайт АО «СО ЕЭС»  
<https://www.rosseti.ru/> - сайт ПАО «Россети»  
<https://prosoftsystems.ru/> - сайт ООО «Прософт-Системы»

### **Дисциплина специализации: Электротехнология и электрофизика**

<https://new.siemens.com/ru/ru.html> - сайт ООО «Сименс» в России  
<https://new.abb.com/ru> - сайт компании АBB в России  
<https://www.se.com/ru/ru/> - сайт Schneider Electric в России

### **Дисциплина специализации: Энергетические системы и комплексы**

<http://minenergo.gov.ru> – сайт Министерства энергетики РФ  
<http://www.gazprom.ru> – сайт ОАО «Газпром»  
<http://www.sciencedirect.com> – сайт ScienceDirect, предоставляющий доступ в научным публикациям  
<http://apps.webofknowledge.com> – сайт международной наукометрической базы данных Web of Science  
<http://www.scopus.com> – сайт международной наукометрической базы данных Scopus  
<http://lib.urfu.ru/> – сайт Зональной научной библиотеки УрФУ

### **Дисциплина специализации: Техническая и прикладная теплотехника**

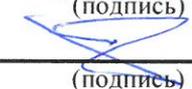
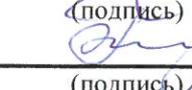
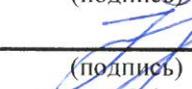
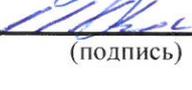
<http://lib.urfu.ru/> – сайт Зональной научной библиотеки УрФУ  
<http://www.rsl.ru/> – сайт Российской Государственной библиотеки  
<http://www.nlr.ru/> – сайт Российской национальной библиотеки  
<http://www.gpntb.ru/> – сайт государственной публичной научно-технической библиотеки России  
<http://www.public.ru/> – сайт публичной интернет-библиотеки  
<http://www.lib.students.ru/> – сайт студенческой библиотеки

<http://www.lib.ru.ru/> – сайт научной библиотеки Санкт-Петербургского Государственного  
Университета  
<http://www.eLIBRARY.ru/> – сайт научной электронной библиотеки

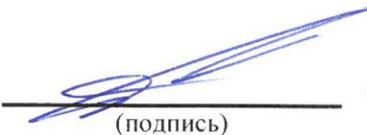
**Дисциплина специализации: Турбомашины и поршневые двигатели**

<http://minenergo.gov.ru> – сайт Министерства энергетики РФ  
<http://www.gazprom.ru> – сайт ОАО «Газпром»  
<http://www.sciencedirect.com> – сайт ScienceDirect, предоставляющий доступ в научным  
публикациям  
<http://apps.webofknowledge.com> – сайт международной наукометрической базы данных  
Web of Science  
<http://www.scopus.com> – сайт международной наукометрической базы данных Scopus  
<http://lib.urfu.ru/> – сайт зональной научной библиотеки УрФУ

Программу вступительного испытания в аспирантуру по научным специальностям  
группы 2.4 – Энергетика и электротехника разработали:

Заведующий кафедрой «Автоматизированные электрические системы», д.т.н.	 _____ (подпись)	(Паздерин А.В.)
Заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок», к.т.н.	 _____ (подпись)	(Костылев А.В.)
Заведующий кафедрой «Теплоэнергетика и теплотехника», д.т.н.	 _____ (подпись)	(Мунц В.А.)
Заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции», к.т.н.	 _____ (подпись)	(Богатова Т.Ф.)
Заведующий кафедрой «Электротехника», д.т.н.	 _____ (подпись)	(Фризен В.Э.)
Заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии», д.т.н.	 _____ (подпись)	(Щеклеин С.Е.)

**Лист согласования**

Директор Уральского энергетического института, д.т.н.	 _____ (подпись)	(Сарапулов С.Ф.)
--	--	------------------