

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе
д.т.н. проф. Драгунов В.К.

«*май*» 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 2.4.5 Энергетические системы и
комплексы
Профиль: Тепловые электрические станции, их энергетические системы
и агрегаты

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение технологий производства электроэнергии и тепла на тепловых электрических станциях и механизмов функционирования оборудования и систем ТЭС.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с основными положениями функционирования оборудования, агрегатов и энергетических систем ТЭС;
- познакомить обучающихся с научными подходами разработки тепловых и технологических схем ТЭС;
- познакомить обучающихся с научно-техническими принципами проектирования ТЭС;
- познакомить обучающихся с технологиями снижения вредного воздействия ТЭС на окружающую среду;
- познакомить обучающихся с режимами работы ТЭС и основ их оптимизации;
- познакомить обучающихся с существующими способами повышения экономичности ТЭС;
- научить выполнять исследования ТЭС в целом и ее отдельных энергетических систем и агрегатов с целью повышения экономичности, надежности;
- научить разрабатывать методы по снижению вредного воздействия ТЭС на окружающую среду;
- научить проводить расчеты тепловых и технологических схем ТЭС;
- научить владению методами совершенствования основного и вспомогательного оборудования ТЭС, их энергетических систем.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Паспорт научной специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы»

Направления исследований:

1. Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы

энергетических систем, комплексов, энергетических установок на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования.

2. Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии.
3. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок.
4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем, станций и энергокомплексов и входящих в них энергетических установок.
5. Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах и комплексах.
6. Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера.
7. Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

Отрасль науки

- технические науки.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: режимы работы и эксплуатация оборудования ТЭС, природоохранные

технологии на ТЭС, вспомогательное оборудование ТЭС, технологии использования органических топлив в энергетике, надежность работы энергетического оборудования.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ПРОГРАММЫ

1. Тепловая энергетика, типы электростанций и показатели их работы.

Первичные энергетические ресурсы и их запасы. Типы электростанций их характеристика и назначение. Технологические схемы ТЭС. Состав технологических систем ТЭС и их назначение. Особенности работы электростанций, графики электрической и тепловых нагрузок. Основные технико-экономические показатели производства электроэнергии и тепла. Собственные нужды ТЭС. Капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Перспективы развития теплоэнергетики. Распределенная энергетика.

2. Котельные установки.

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

3. Паротурбинные установки электростанций.

Тепловые циклы паротурбинных установок. Принципиальное устройство паровой турбины. Преобразование энергии в турбинной ступени. Парораспределение паровой турбины, назначение и принципы применения. Принцип работы, назначение и процессы, происходящие в основных вспомогательных элементах турбины. Типы паровых турбин, их назначение и условия применения. Начальные и конечные параметры паротурбинных установок, их влияние на показатели тепловой экономичности. Работа турбин на влажном паре, влияние влажности на характеристики турбинной ступени. Сепарация влаги в проточной части турбин. Система регулирования

и управления турбинами разных типов. Работа турбины при переменных режимах. Основы эксплуатации паротурбинных установок.

4. Технологические тепловые схемы ТЭС и энергоблоков, методы повышения экономичности паротурбинных электростанций.

Основные элементы технологической тепловой схемы ТЭС и их назначение. Параметры эксплуатации ТЭС и факторы, влияющие на выбор начальных и конечных параметров. Методы расчета тепловых схем и исследование их эффективности. Полные тепловые схемы электростанций, выбор основного и вспомогательного оборудования ТЭС. Выбор оптимального распределения регенеративного подогрева воды по ступеням на КЭС и ТЭЦ без промперегрева и с промперегревом пара. Способы повышения экономичности ТЭС. Методы расчета экономически наиболее выгодной температуры питательной воды. Состав основного и вспомогательного оборудования тепловой схемы ТЭС, его назначение. Методы расчета и выбора основного и вспомогательного оборудования ТЭС.

Особенности расчета и выбора паропроводов, трубопроводов питательной воды и конденсата. Методы расчета на прочность и гидродинамические расчеты трубопроводных систем. Расчет тепловых потерь и выбор тепловой изоляции.

5. Теплофикация (когенерация) и ее энергетическая эффективность.

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

6. Газотурбинные и парогазовые ТЭС.

Типы газотурбинных и парогазовых ТЭС. Принципиальные тепловые схемы газотурбинных и парогазовых ТЭС: структура, назначение агрегатов. Схемы, конструкции, характеристики и режимы работы компрессоров. Камеры сгорания: типы, конструктивные схемы, характеристики. Эксплуатация и переменные режимы работы энергетических газотурбинных установок. Котлы-утилизаторы в тепловой схеме парогазовых ТЭС: конструктивные схемы и особенности их работы. Тепловой и аэродинамический расчеты котлов-утилизаторов. Особенности паротурбинных установок в составе парогазовых ТЭС. Регулирование нагрузки на парогазовых ТЭС с котлами-утилизаторами. Особенности комбинированной выработки электроэнергии и тепла на газотурбинных и парогазовых ТЭС. Парогазовые технологии на пылеугольных электростанциях.

7. Режимы работы электростанций.

Общая характеристика режимов работы ТЭС. Особенности работы ТЭС в составе энергосистемы. Графики электрических нагрузок энергосистем, электростанций, энергоблоков в суточном, сезонном и

годовом аспектах времени. Баланс мощности в энергосистеме. Регулирование частоты и напряжения в системе. Система управления режимами работы внутри электростанций и в энергосистеме. Диспетчерские службы. Режимы эксплуатации энергоблоков КЭС, ТЭЦ и других типов электростанций. Стационарные, переходные и переменные режимы работы. Влияние переменных режимов работы, на показатели тепловой экономичности, надежность и долговечность оборудования. Работа основного и вспомогательного оборудования на частичных нагрузках. Обеспечение оптимальных условий эксплуатации основного и вспомогательного оборудования при различных нагрузках. Основные факторы и ограничения, определяющие режимы работы. Затраты топлива при работе в переходных режимах связанные с нестационарными процессами. Пусковые схемы энергоблоков их назначение и особенности использования. Пуски оборудования из различных тепловых состояний. Расход топлива на пуск блоков. Способы использования оборудования для покрытия переменной части графика нагрузок. Прохождение провалов и пиков нагрузки. Особенности эксплуатации ТЭС в условиях рынка. Принципы выбора состава включенного оборудования и распределения нагрузки между агрегатами в условиях рынка. Критерии выбора. Использование энергетических характеристик оборудования ТЭС и ТЭЦ для оценки эффективности технологических процессов и режимов работы оборудования в условиях рынка электроэнергии и мощности. Влияние режимов работы на принятие оптимальных решений перспективного развития и реконструкции ТЭС. Аварийные режимы и ситуации их предупреждение и способы ликвидации.

8. Защита окружающей среды от воздействия ТЭС.

Основные понятия об экосистеме, биосфере и о круговороте веществ в природе. Воздействие ТЭС на окружающую среду, виды загрязнений. Соотношение между природными и промышленными выбросами вредных веществ. Трансформация вредных веществ в атмосфере. Предельно допустимые концентрации выбросов. Дымовые трубы и рассеивание вредностей в атмосфере, расчет высоты дымовых труб.

Факторы физического воздействия на окружающую среду. Снижение выбросов золы, оксидов азота и соединений серы в атмосферу. Сокращение выбросов водяного пара и парниковых газов в атмосферу. Снижение вредного воздействия золошлаковых отходов на окружающую среду.

Основные направления сокращения водопотребления и сброса сточных вод на ТЭС. Образование шламов на ТЭС и пути их утилизации. Технологические схемы ТЭС с высокими экологическими показателями.

Шумовое воздействие ТЭС. Источники шума. Пределы шумового воздействия.

Методы расчета и анализа состояния экосистем.

Основные законы РФ в области охраны окружающей среды: «Закон об охране окружающей среды», «Закон об охране атмосферного воздуха», «Закон о лицензировании природоохранной деятельности» и др.

Международные соглашения, подписанные Россией в области охраны окружающей среды. Предельно допустимые концентрации вредных веществ.

9. Генплан станции, компоновка ТЭС и технологические системы обеспечения ее работы.

Выбор места сооружения и компоновка генплана ТЭС.

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

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

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

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

Системы золошлакоудаления. Расчет золошлакопроводов и выбор скорости пульпы.

Вопросы для самоконтроля и проведения кандидатского экзамена:

1. Перспективы развития теплоэнергетики.
2. Типы и классификация котлов.
6. Тракты и основные элементы котлов.
7. Подготовка топлива к сжиганию.
8. Тепловой расчет паровых котлов и их элементов.
9. Экономичность работы котла.
10. Работа ступеней паровой турбины.
11. Переменный режим работы паротурбинных установок..
12. Конденсационные установки паровых турбин.
13. Методы расчета тепловых схем паротурбинных ТЭС.
14. Показатели экономичности ТЭС.
15. Способы повышения экономичности паротурбинных ТЭС.
16. Экономические основы теплофикации.
17. Схемы отпуска технологического пара и схемы теплоснабжения.
18. Графики тепловых нагрузок.
19. Типы газотурбинных и парогазовых ТЭС.
20. Оборудование газотурбинных энергетических установок.
21. Показатели экономичности и газотурбинных энергетических установок и факторы, от которых они зависят.

22. Режимы эксплуатации ТЭС.
23. Пусковые схемы паротурбинных энергоблоков.
24. Воздействие ТЭС на окружающую среду и методы их снижения.
25. Основные направления сокращения водопотребления и сброса сточных вод.
26. Основные требования к компоновке оборудования ТЭС и генплану ТЭС.
27. Системы технического водоснабжения ТЭС.
28. Системы золошлакоудаления на ТЭС.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Терминологический справочник по электроэнергетике. – М.: Типография «КЕМ», 2008. – 912 с.
2. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия.: в 4 кн. / под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. Кн. 3:Тепловые и атомные электростанции: справочник. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 648 с.
3. Тепловые электрические станции. Учебник для вузов, В.Д.Буров, Е.В.Дорохов, Д.П.Елизаров и др. Под ред. В.М. Лавыгина, А.С.Седлова, С.В. Цанева. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. -466 с.
4. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые электрические станции. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 464 с.
5. Паровые и газовые турбины для электростанций: / А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний; под ред. А.. Костюка. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 556 с.
6. Режимы работы и эксплуатация ТЭС:// Э.К.Аракелян, Е.Т. Ильин, Н.Д. Рогалев. – М.: Издательство МЭИ, 2021. – 520 с.

Дополнительная литература:

1. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 420 с.
2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. –584 с.
3. Ларин Б.М. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых электростанций – Иваново, 2009. – 412 с.
4. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 472 с.
5. Котлы с циркулирующим кипящим слоем: учебное пособие / А.Г. Тумановский, А.Н. Тугов, П.В. Росляков – М.: Изд-во МЭИ, 2014.
6. Росляков П.В. Методы защиты окружающей среды: учебник для ВУЗов – М.: Издательский ДОС МЭИ, 2007.
7. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с.
8. Тупов В.Б. Факторы физического воздействия ТЭС на окружающую среду: / В.Б. Тупов. М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 284 с.
9. Трухний А.Д. Парогазовые установки электростанций: / А.Д. Трухний. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 667 с.
10. Экономика энергетики: / Н.Д. Рогалев, А.Г. Зубкова, И.В. Мастерова и др.; под ред. Н.Д. Рогалева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 320 с.
11. Н.Н. Манькина. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций – Энергоатомиздат – 2008 – 431 с.
12. Современная рыночная электроэнергетика Российской Федерации. 3-издание/Под.ред. Баркина О.Г.-М.: Издательство «Перо», 2017, - 532с.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры
Тепловых электрических станций
к.т.н., доцент



Е.Т. Ильин

Заведующий кафедрой
Тепловых электрических станций
д.т.н., профессор



Н.Д. Рогалев

Директор ИТАЭ
д.т.н., профессор



А.В. Дедов