

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

по науке и инновациям

Комаров И.И.

« ____ » _____ 2026 г.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ В
АСПИРАНТУРУ**

Группа научных специальностей – 2.4. Энергетика и электротехника

Научная специальность – 2.4.5. Энергетические системы и комплексы

Профиль - Котлы, камеры сгорания, парогенераторы АЭС и их вспомогательные
элементы

Москва, 2026

1. Гидродинамика энергетических установок

Гидравлические схемы и организация движения рабочей среды в энергетических установках. Структура двухфазных потоков пароводяной среды при различных режимных параметрах для вертикальных и горизонтальных труб.

Кризис теплообмена для двухфазного потока. Условия работы элементов пароводяного тракта, теплогидравлическая разверка. Коллекторный эффект. Физическая сущность принципа естественной циркуляции. Кратность циркуляции. Движущий и полезный напоры. Решение уравнения циркуляции. Полная диаграмма циркуляции. Сложные контуры циркуляции. Оценка надежности контуров естественной циркуляции. Закономерности перехода примесей рабочей среды (воды) в пар. Ступенчатое испарение, промывка пара, сепарация воды и пара (методы получения чистого пара). Гидравлическая неустойчивость парогенерирующих змеевиков и их гидравлические характеристики. Влияние разных факторов на гидравлическую характеристику змеевиков.

Гидравлические характеристики сложных змеевиков и их компоновок, влияние на них различных факторов. Пульсации потока пароводяной среды в трубных элементах и методы борьбы с этим явлением. Рекомендации по конструированию гидравлических систем.

2. Характеристики энергетического топлива и продуктов сгорания

Состав твердого топлива на рабочую массу, горючие и негорючие компоненты. Марки углей. Классификация углей по степени влажности, зольности, содержания серы. Классификация углей по реакционной способности. Высшая и низшая теплота сгорания твердого топлива. Классификация углей по энергетической ценности. Понятие об относительном лабораторном коэффициенте размолоспособности. Классификация углей по сопротивляемости размолу. Состав золы твердого топлива. Компоненты золы, способствующие увеличению или уменьшению температуры ее плавления.

Теплотехнические и технические характеристики природного газа. Плотность газа, понятие о взрывоопасных концентрациях газоздушных смесей. Токсичность компонентов природного газа.

Теплотехнические и технические характеристики мазута. Вязкость мазута и ее зависимость от температуры. Понятие о температурах вспышки и воспламенения.

Основные компоненты уходящих из котла газов при сжигании угля, природного газа и мазута.

3. Технология сжигания органического топлива

Основные характеристики угольной пыли и закономерности процесса размола (фракционный состав пыли, закон Розина-Рамлера-Шперлинга, оптимальная

тонкость помола, влажность пыли, плотность пыли, ее транспортные свойства, закон Риттингера, КПД процесса размола). Взрываемость пыли, факторы, влияющие на взрывоопасность, основные способы повышения взрывобезопасности.

Классификация углеразмольных мельниц. Конструкции и принцип действия шаровых барабанных мельниц (ШБМ), молотковых мельниц (ММ), среднеходных мельниц (СМ), мельниц-вентиляторов (М-В). Область применения, преимущества и недостатки, обозначение типоразмеров ШБМ, ММ, СМ, М-В. Факторы, влияющие на выбор типа мельницы.

Классификация систем пылеприготовления (СП). Понятие о пылесистемах с прямым вдуванием и с промежуточным бункером пыли. Основные элементы, входящие в состав этих СП. Преимущества и недостатки пылесистем с прямым вдуванием и с промбункером, область их применения.

Материальный и тепловой баланс СП. Понятия о размольной и сушильной производительности СП. Использование двухкомпонентного сушильного агента для достижения равенства сушильной и размольной производительности.

Необходимость подогрева воздуха в воздухоподогревателях энергетических котлов, преимущества, которые позволяет получить этот подогрев. Стадийность процесса сжигания угольной пыли. Понятие о необходимости деления воздуха на первичный и вторичный при факельном сжигании угля. Уравнение воздушного баланса топki в общем виде.

Назначение топок и требования к ним. Классификация топок по виду топлива. Классификация по способу сжигания топлива и этапы развития технологии сжигания. Классификация топок по способу шлакоудаления, преимущества и недостатки топок с твердым и жидким шлакоудалением. Классификация топок для факельного сжигания по способу компоновки горелок, преимущества и недостатки различных схем компоновки горелок.

Шлакование топki и поверхностей нагрева. Основные способы обеспечения отсутствия шлакования при проектировании котла и при его эксплуатации.

Стабилизация процесса горения в прямоточных горелках и особенности совместного развития струй. Типы и область применения прямоточных горелок, их преимущества и недостатки. Основные конструкции пылеугольных прямоточных горелок. Стабилизация процесса горения в вихревых горелках. Их классификация и основные конструкции. Преимущества и недостатки вихревых горелок. Основные типы газомазутных горелок и их особенности.

Тепловая мощность топki. Тепловые характеристики топок (q_v , q_F , $q_{д.г}$, $\vartheta''_{а.г}$). Причины существующих ограничений по этим характеристикам.

Технология сжигания топлива в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). Основные технологии ЦКС. Преимущества и недостатки отдельных технологий и котлов с ЦКС в целом.

4. Паровые котлы

Понятие о котле и котельной установке. Классификация котлов. Идентификация котлов по ГОСТ. Основные компоновки (профили) котлов. Котлы с естественной циркуляцией, с принудительной циркуляцией, прямоточные котлы. Их преимущества и недостатки, область применения.

Поверхности нагрева под давлением: радиационные, полурadiационные, конвективные, испарительные и пароперегревательные. Экономайзеры гладкотрубные и оребренные. Возможные конструкции. Понятие об окалинообразовании. Выбор типоразмера труб и типа стали. Причины ограничения по массовой скорости и скорости газов.

Воздухоподогреватели трубчатые (ТВП) и регенеративные (РВП). Особенности, возможные конструкции. Скорости воздуха и газов, причины их ограничения по верхнему и нижнему пределу. Понятие о низкотемпературной коррозии и способы борьбы с ней. Преимущества и недостатки ТВП и РВП, область применения.

Основы теплового расчета котла и поверхностей нагрева. Понятия об объеме топки и поверхности стен, высоте топки, высоте расположения горелок, толщине излучающего слоя. Понятие о поверочном и конструкторском расчете. Общая последовательность поверочного теплового расчета топки. Поверочный расчет ширм и конвективных поверхностей нагрева: балансовые уравнения и уравнение теплопередачи, критерий сходимости поверочного расчета.

Анализ характеристик топлива, шлакование и загрязнение поверхностей нагрева. Опорные точки тепловой схемы котла. Тепловой баланс парового котла. Расчёт тепловой схемы парового котла. Современные решения, применяющиеся при проектировании энергетических установок и тенденции развития. Выбор, преимущества и недостатки отдельных компоновок котлов. Методы регулирования температуры вторичного и первичного пара. Особенности конструкций и тепловых схем котлов. Работа котла в стационарных и переменных режимах. Пусковые схемы ТЭС и ТЭЦ, их влияние на конструкцию и работу парового котла.

5. 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.

6. Защита окружающей среды от вредных выбросов ТЭС

Воздействие ТЭС на окружающую среду. Вредные выбросы и механизмы их образования. Нормирование вредных выбросов в атмосферу. Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосфере. Предельно допустимые и временно согласованные выбросы. ГОСТ Р 50831-95: нормативы удельных выбросов из котлов. ИТС 38-022. Наилучшие доступные технологии. Снижение выбросов частиц золы в атмосферу. Снижение выбросов оксидов азота и соединений серы в атмосферу. Сокращение выбросов водяного пара и парниковых газов в атмосферу.

7. Исследование и наладка паровых котлов

Классификация экспериментально-наладочных работ, их цели и задачи. Программы испытаний. Средства измерений. Метрологические характеристики средств измерений. Методы и средства измерения параметров работы котлов (температура, давление, расход, газовый состав продуктов сгорания).

Теоретические объемы компонентов продуктов сгорания и их определение. Определение КПД по прямому и обратному балансу. Определение оптимальных избытков воздуха. Определение присосов в котельную установку.

1. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Под ред. Н.В. Кузнецова. М.: Энергия, 1973.
2. Резников М.И., Липов Ю.М. Котельные установки электростанций. М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Хзмалян Д.М., Каган Я.А. Теория горения и топочные устройства. М.: Энергия, 1976.
4. Супранов В.М. Пылеприготовительные установки электростанций и их расчет. М.: Издательство МЭИ, 2021. ISBN 978-5-7046-2
5. Супранов В.М. Топки паровых котлов для факельного сжигания топлива. М.: Издательство МЭИ, 2024. ISBN 978-5-7046-2926-9

6. Супранов В.М., Маслов Р.С., Плешанов К.А. Поверхности нагрева паровых котлов. М: Издательство МЭИ, 2023. ISBN 978-5-7046-2742-5
7. Изюмов М.А., Супранов В.М., Плешанов К.А. Компоновки паровых котлов и организация движения среды в экранах ограждения. М: Издательство МЭИ, 2022. ISBN 978-5-7046-2547-6
8. Росляков П.В. Методы защиты окружающей среды. – М.: Издательство МЭИ, 2007.
9. Трёмбовля В.И. и др. Теплотехнические испытания котельных установок. 2-е изд. перераб. и доп.— М.: Энергоатомиздат, 1991.

«Согласовано»

Директор ЭНМИ
к.т.н., доцент

Митрохова О.М,