

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

**Утверждаю
Директор ИТАЭ**

_____ **А.В. Дедов**

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В МАГИСТРАТУРУ**

**Направление подготовки:
13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Магистерские программы

**ТЭС: схемы, системы и агрегаты
Теплотехника и малая распределенная энергетика
Технология воды и топлива в энергетике
Автоматизированные системы управления объектами тепловых и атомных
электрических станций
Цифровое проектирование объектов энергетики**

Москва 2025

I Базовая часть экзамена

1. Техническая термодинамика

Термодинамическая система, параметры состояния, функции состояния и функции процесса, равновесные и неравновесные процессы.

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Виды работ термомеханической системы. Первый закон термодинамики для стационарного потока массы.

Второе начало термодинамики. Формулировки и аналитическое выражение. Обратимые и необратимые процессы. Определение энтропии. КПД прямого цикла Карно и теоретический холодильный коэффициент цикла Карно. Изменение энтропии в необратимых процессах. Энтропийный метод термодинамического анализа.

Определение эксергии. Потери эксергии. Формула Гюи -Стодола. Эксергетический КПД. Эксергетический метод термодинамического анализа.

Процессы идеального газа, работа расширения и техническая работа процесса, теплота процесса, изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии в процессе, теплоемкость процесса, изображение процесса в p,v - и T,s -диаграмме.

Фазовое равновесие и фазовые переходы. Фазовая pT - диаграмма. Правило фаз Гиббса. Полные T,s -, p,v - и p,T - диаграммы для нормальных веществ. Обратимые изотермический, изобарный, изохорный и адиабатный процессы реального вещества в T,s -, p,v -, p,T - и h,s - диаграммах.

Смеси идеальных газов, способы задания смеси, массовая и мольная доли компонентов смеси и их взаимный пересчет, кажущаяся молекулярная масса и удельная газовая постоянная смеси. Парциальное давление и парциальный объем компонентов смеси. Законы Дальтона и Амага. Расчет удельных и мольных термодинамических свойств смеси идеальных газов: удельные и мольные объемы, теплоемкости, внутренние энергии и энтальпии смеси.

Процессы течения газа или пара в суживающихся и комбинированных соплах (соплах Лаваля). Расчет скорости и массового расхода газа или пара. Влияние трения, скоростной коэффициент сопла. Изображение процессов в h,s - диаграмме. Кризис течения в суживающихся соплах и в соплах Лаваля, скорость звука. Закон обращения воздействия.

Адиабатное дросселирование. Характеристика процесса, изменение термодинамических свойств (p , T , h , s) в процессе дросселирования, изображение процесса в h,s - диаграмме. Эффект Джоуля – Томсона, кривая инверсии в p,T - диаграмме.

Тепловая теорема Нернста. Гипотеза Планка. Третий закон термодинамики и его следствия.

2. Тепломассообмен

Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия.

Стационарные задачи теплопроводности. Перенос теплоты в однослойной и многослойной плоской стенке, однослойной и многослойной цилиндрической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через стенку. Термические сопротивления. Уравнение теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Теплопроводность тел с внутренними источниками теплоты.

Нестационарные задачи теплопроводности.

Конвективный теплообмен: качественное описание процессов конвективного теплообмена, безразмерные комплексы: числа Рейнольдса, Грасгофа, Релея, Пекле, Нуссельта, Стантона. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля; расчетные формулы для коэффициента теплоотдачи в условиях внутренней и внешней задачи.

Теплообмен при фазовых превращениях (конденсация, кипение). Особенности гидродинамики и теплообмена при кипении в трубах. Кризисы теплоотдачи первого и второго рода.

Природа теплового излучения. Спектры излучения твердых тел, жидкостей и газов. Интегральные и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения.

Спектральные и интегральные характеристики излучения тел: поглощательная, отражательная, пропускательная способности, степень черноты. Связь спектральных и интегральных характеристик излучения тел. Закон Кирхгофа. Абсолютно черное тело. Серое, белое, зеркальное тела. Излучение реальных тел. Приближение серого тела. Основные законы излучения абсолютно чёрного тела. Связь потоков результирующего и эффективного излучения. Формула Поляка.

II Специальная часть экзамена

1. Котельные установки

Типы паровых котлов, основные элементы паровых котлов. Основные тракты паровых котлов. Физико-химические свойства и теплотехнические характеристики энергетических топлив и организация их сжигания. Топочные устройства и особенности их работы, методы снижения уровня образования вредных продуктов сгорания в зоне горения. Экономичность работы паровых котлов. Методика теплового расчета парового котла. Процессы, происходящие на внешней стороне поверхностей нагрева. Принципы регулирования температуры пара. Впрыскивающие и поверхностные пароохладители и места их установки. Тепловой баланс парового котла, определение КПД и расхода топлива. Характеристика тепловых потерь.

Тепловые характеристики топочных камер (определяющие температуры и тепловые напряжения). Связь размеров топочной камеры с тепловыми напряжениями. Виды горелочных устройств и их размещение на стенах. Принцип работы вихревых и прямоточных горелок. Организация твердого и жидкого шлакоудаления. Особенности топок для сжигания природного газа и мазута. Виды экранирования топочных камер. Радиационный теплообмен в топках, определение размера тепловоспринимающей поверхности.

Принципы выполнения ширмовых и змеевиковых поверхностей, конструкции воздухоподогревателей. Виды загрязнения и коррозии поверхностей, влияние загрязнений на тепловой режим работы. Методы очистки поверхностей котла.

Виды каркаса котлов малой и большой мощности. Обмуровка и теплоизоляция в барабанных и прямоточных котлах. Профиль котла (понятие) и компоновка поверхностей нагрева. Распространенные виды профилей (П- и Т-образный, башенный), их связь с видом сжигаемого топлива и мощностью котла.

Назначение и конструктивное выполнение водогрейных котлов. Паровые котлы с циркуляционным кипящим слоем, котлы-утилизаторы для парогазовых установок на два уровня давления.

2. Паротурбинные установки электростанций

Параметры паротурбинных установок, их влияние на экономичность ТЭС. Типы паровых турбин, их маркировки и классификация. Процессы в турбинных ступенях. Переменные режимы работы турбоустановок, закон Стодолы–Флюгеля; маневренность, холостой ход турбоагрегата; моторный режим; режим горячего вращающегося резерва.

Способы парораспределения паровых турбин: дроссельное парораспределение; сопловое парораспределение; обводное парораспределение; выбор системы парораспределения; регулирование мощности турбоагрегатов способом скользящего давления. Пуск турбин из различных состояний. Работа турбин на влажном паре, влияние

влажности на характеристики турбинной ступени. Сепарация влаги в проточной части турбин. Конденсационные установки паровых турбин. характеристика конденсатора и переменный режим его работы; воздухоотсасывающие устройства; особенности эксплуатации конденсационной установки.

Мощность и экономичность турбинных ступеней: уравнения для расчетов усилий и мощности турбинной ступени; относительный лопаточный КПД ступени; двухвенечные ступени скорости.

Проектирование и конструкции ступеней паровых турбин: особенности конструкций турбинных ступеней для цилиндров паровых турбин; правила их проектирования.

Компоновки паровых турбин различного назначения: предельная мощность однопоточной конденсационной турбины; способы повышения предельной мощности; определение размеров последней ступени; компоновочные решения, показатели надежности и экономичности паровых турбин. Особенности паровых турбин для ПГУ ТЭС.

3. Тепловые электрические станции

Типы тепловых электростанций. Технологические схемы паротурбинных ТЭС. Тепловые схемы паротурбинных ТЭС. Элементы принципиальных тепловых схем, назначение и принцип работы. Показатели экономичности, способы повышения тепловой экономичности паротурбинных ТЭС. Начальные и конечные параметры пара, промежуточный перегрев пара на паротурбинных ТЭС. Регенеративный подогрев конденсата и питательной воды. Комбинированная выработка электрической и тепловой энергии на ТЭЦ, экономия топлива на ТЭЦ. Расход топлива на выработку электроэнергии и теплоты на паротурбинных ТЭЦ, проблемы определения. Особенности характеристик ТЭЦ. Схемы отпуска теплоты на ТЭС, графики тепловых нагрузок. Воздействие ТЭС на окружающую среду. Техническое водоснабжение, источники и системы водоснабжения, их сравнение. Топливное хозяйство электростанции. Графики электрических нагрузок, режимы работы ТЭС. Компоновка главного корпуса паротурбинных ТЭС и генплан. ГТУ открытого типа. Цикл Брайтона. Основные характеристики энергетических ГТУ. Типы тепловых схем ПГУ и ГТУ ТЭС: назначение элементов, принцип работы. Парогазовые установки - состав и показатели экономичности ПГУ. Газотурбинные ТЭЦ – особенности тепловых схем и способов отпуска теплоты.

Нетрадиционные источники для выработки электроэнергии и теплоты, их сущность и характеристика.

Профиль «Технология воды и топлива в энергетике»

Водный баланс ТЭС и АЭС. Оценка потребности в воде ТЭС и АЭС. Выбор источника водоснабжения. Водный баланс водоподготовительной установки. Водный баланс системы охлаждения конденсатора. Определение производительности водоподготовительной установки.

Классификация и характеристика примесей природных вод. Поступление примесей в природную воду. Показатели качества воды.

Методы очистки воды на ТЭС и АЭС. Очистка воды методами осаждения. Очистка воды методами фильтрования. Очистка воды методами ионного обмена. Очистка воды термическими методами. Очистка воды от растворенных газов.

Оборудование водоподготовительной установки. Фильтры осветлители. Механические фильтры. Ионообменные фильтры. Испарители. Декарбонизаторы. Деаэраторы.

Схемы обессоливания и области их применения. Конденсатоочистка в составе тепловых схем ТЭС и АЭС.

Коррозия оборудования ТЭС и методы коррозионной защиты.

Профиль «Цифровое проектирование объектов энергетики», «Теплотехника и малая распределенная энергетика»

Процессы в неохлаждаемых и охлаждаемых компрессорах. Влияние процесса сжатия на удельную работу компрессора. Расчет отводимой теплоты, удельной работы и мощности компрессора, Изображение процесса в p, v -, T, s - диаграммах.

Принципиальная схема и цикл простой паротурбинной установки – цикл Ренкина, изображение цикла в T, s - диаграмме и процесса в турбине в h, s - диаграмме. Расчет удельной работы цикла и мощности установки, термического и внутреннего КПД цикла. Влияние p, T - параметров теоретического цикла на КПД и мощность ПТУ.

Теплофикационные циклы паротурбинных установок (ПТУ-ТЭЦ), преимущества ПТУ-ТЭЦ. Принципиальная схема ПТУ-ТЭЦ и цикл в T, s -диаграмме. Показатели эффективности теплофикационных циклов.

Принципиальная схема и цикл простой газотурбинной установки – цикл Брайтона, изображение цикла в T, s - диаграмме. Расчет удельной работы цикла и мощности установки, термического и внутреннего КПД цикла. Влияние начальных температуры и давления газа на его эффективность

Бинарный парогазовый цикл с котлом-утилизатором, изображение в T, s -диаграмме. Термический КПД парогазовой установки.

Принципиальная схема и цикл парокомпрессионной холодильной установки, изображение цикла в T, s – диаграмме. Удельная работа, холодопроизводительность, холодильный коэффициент и эксергетический КПД цикла, потребляемая мощность установки.

Принципиальная схема и цикл парокомпрессионной теплонасосной установки (ТНУ), изображение цикла в T, s – диаграмме. Удельная работа, теплопроизводительность (тепловая мощность), потребляемая мощность, отопительный коэффициент и эксергетический КПД цикла.

Расчёт свободной конвекции около вертикальной и горизонтальной поверхности. Расчет вынужденной конвекции при ламинарном и турбулентном течении жидкости в трубе. Расчет вынужденной конвекции при поперечном омывании труб и трубных пучков.

Классификация теплообменных аппаратов. Тепловой баланс рекуперативного теплообменного аппарата. Определение среднего температурного напора. Порядок конструктивного и поверочного расчета теплообменного аппарата.

Расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе двух тел, разделенных лучепрозрачной средой: бесконечные плоскости. Расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе двух тел, разделенных лучепрозрачной средой: тело и оболочка. Расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе двух тел, разделенных лучепрозрачной средой, при наличии экранов. Угловые коэффициенты излучения: локальный, средний. Основные свойства угловых коэффициентов излучения.

Особенности излучения газов и паров. Закон Бугера. Спектральная поглощательная, пропускательная способность, степень черноты газового слоя. Эффективная длина пути луча. Поглощательная способность и степень черноты среды (продуктов сгорания). Номограммы Хоттеля.

4. Метрология, теплотехнические измерения. Теория автоматического управления

Методы измерений. Средства измерений. Общие принципы построения цифровых средств измерения. Метрологические характеристики.

Классификация погрешностей и их количественная оценка. Обработка результатов измерений. Оценка погрешностей технических измерений. Неопределенность и погрешность измерений.

Измерение температуры. Измерение давления. Измерение расхода. Измерение уровня. Измерение теплоты. Анализ состава жидкостей и газов.

Основные понятия управления. Технические системы управления. Автоматизированные

системы управления (АСУ), виды АСУ. Автоматические системы регулирования (АСР). Цели и принципы автоматического управления и регулирования.

Дифференциальные уравнения и динамические характеристики линейных систем. Структурные схемы систем управления.

Модели физических систем. Статический и динамический режимы динамических систем. Математический аппарат анализа и синтеза линейных динамических систем. Дифференциальные уравнения и динамические характеристики линейных систем. Передаточные функции и частотные характеристики. Структурные схемы систем управления. Типовые звенья и их соединения; характеристики типовых звеньев и соединений типовых звеньев; типовые алгоритмы регулирования.

Устойчивость линейных динамических систем. Необходимое и достаточное условие устойчивости. Критерии устойчивости. Критерий Рауса-Гурвица, критерий Найквиста. Запас устойчивости, показатели запаса устойчивости.

Автоматические системы регулирования с дополнительными информационными сигналами. Комбинированная АСР (АСР с компенсацией возмущений). АСР с регулятором и дифференциатором (АСР с исчезающим в статике сигналом из промежуточной точки). Каскадная АСР.

5. Тепломеханическое и вспомогательное оборудование ТЭС

Тепломеханическое и вспомогательное оборудование ТЭС. Регенеративные подогреватели ТЭС, их типы, требования, предъявляемые к подогревателям ТЭС. Расчёт и причины недогрева. Определение температурных напоров и конечных разностей температур в подогревателях. Тепловой расчёт поверхностных подогревателей, определение конструктивных характеристик, компоновки трубных пучков. Конструктивная схема ПВД, схема включения зон подогрева воды, схемы движения воды и пара, уравнения теплового баланса зон подогрева, график изменения температур. Преимущества и недостатки смешивающих ПНД. Испарители: назначение, преимущества и недостатки, схемы включения, конструктивные характеристики. Получение чистого пара в испарителях. Арматура ТЭС: классификация, схемы, преимущества и недостатки, область применения. Насосы ТЭС: классификация, назначение, параметры и характеристики лопастных насосов. Работа насоса на сеть. Параллельная и последовательная работа насосов. Регулирование подачи насосов. Струйные насосы: назначение, схема и принципы работы. Тягодутьевые машины ТЭС: типы, характеристики. Способы регулирования, сравнение их экономичности. Схемы рабочих колёс радиальных и осевых ТДМ. Основное уравнение турбоагрегатов.

Литература

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика, 5-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 496 с.
2. Александров А.А., Охотин В.С., Орлов К.А. Техническая термодинамика. – Москва: Изд-во МЭИ, 2024. – 476 с.
3. Александров А.А. Теплофизические свойства рабочих веществ теплоэнергетики: справочник / А.А. Александров, К.А. Орлов, В.Ф. Очков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2017. – 226 с.
4. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 287 с.
5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981. - 416 с.
6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2008. – 550 с., ил.

7. Тепломассообмен: [в 2-х т.]. Т. 1: Солодов А.П., Сиденков Д.В., Величко В.И. ; общ. ред. А.П. Солодов – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 484 с.
8. Тепломассообмен: [в 2-х т.]. Т. 2: Солодов А.П., Сиденков Д.В.; общ. ред. А.П. Солодов – Москва : Изд-во МЭИ, 2023. – 608 с.
9. 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.
10. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые электрические станции. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
11. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: Энергоатомиздат, 1987.
12. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы: -М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотичная динамика», 2005.
13. Паровые и газовые турбины для электростанций / А.Г. Костюк, В.В. Фролов. М., А.Е. Булкин, А.Д. Трухний: - М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
14. Щегляев А.В. Паровые турбины. М.: Энергоатомиздат, 1993.
15. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. -6-е изд., перераб.- М.: Издательство МЭИ, 2001.
16. Тепловые и атомные электрические станции. Справочник Под общ.ред. А.В.Клименко и В.М.Зорина. М.: Издательство МЭИ, 2007.
17. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС, уч. пособие. М.: Изд. дом МЭИ, 2008. 270 с.
18. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. 2-е изд. М.: Издательский дом МЭИ, 2005.
19. Цыпин А.В., Цыпина Е.Ю. Теоретические основы современной метрологии, :Учебное пособие. Издательство МЭИ, 2020.
20. Сергеев А. Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация. Учебное пособие. –Изд. 2-е, -М.: Логос, 2009.
21. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления : учебник для вузов по специальности "Автоматизация технологических процессов и производств (энергетика)" / В. Я. Ротач. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с. – ISBN 978-5-383-00326-8
22. Мерзликина, Е. И. Теория автоматического управления : задачник по курсу "Теория автоматического управления" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" / Е. И. Мерзликина, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – М. : Изд-во МЭИ, 2019. – 52 с. – URL: <http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=10822>. – ISBN 978-5-7046-2120-1.
23. Панько М.А. Расчет и моделирование автоматических систем регулирования в среде Mathcad. М.: Издательство МЭИ, 2004. - 112 с.
24. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике: учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 310 с.: ил.
25. Громов С.Л., Долгов Е.К., Орлов К.А., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – Москва: Изд-во МЭИ, 2021. – 576 с.
26. Петрова Т.И., Воронов В.Н., Дяченко Ф.В. Физико-химические процессы в водном теплоносителе электростанций. – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 384 с.

Согласовано:

Зав. кафедрой ТЭС

А.А.

Дудолин

Зав. кафедрой ТОТ
Шацких

Ю.В.

Зав. кафедрой АСУТП
Мезин

С.В.