

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ПРЕДПОСЛАВЛЯЮ

Заместитель председателя
Всехосударственной комиссии

М.В. Румянцев

25 сентября 2017 г.

ПРОГРАММА

**вступительного испытания в магистратуру
в форме собеседования по профилю программы
Направление 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

**Магистерская программа 13.04.01.02
«Энергоэффективные технологии производства
электрической и тепловой энергии»
(политехнический институт)**

Красноярск 2017

Содержание программа

Введение

Настоящая программа составлена на основе базовых дисциплин ФГОС по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», связанных с особенностями анализа режимных параметров теплогенерирующих, теплотранспортных и теплопотребляющих установок, синтезом их основного и вспомогательного оборудования, с проблемами оптимизации технологических процессов и режимов эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

1. Теоретические основы термодинамики, теория теплопроводности и теплообмена

1.1. Термодинамическая система и ее состояние. Основные положения и определения. Термические параметры. Термическое уравнение состояния идеального газа. Энергетические характеристики термодинамических систем. Энергия. Работа и теплота. Энтальпия. Понятие о теплоемкости. Зависимость теплоемкости от температуры. Первый закон термодинамики. Взаимодействие системы с окружающей средой. Уравнение первого закона термодинамики для закрытой системы. Анализ уравнения первого закона термодинамики для закрытой системы. Уравнение первого закона термодинамики для открытой системы. Уравнение первого закона термодинамики для потока. Основные термодинамические процессы. Равновесные термодинамические процессы. Закономерности термодинамических процессов. Зависимость между параметрами в политропном процессе. Работа, внутренняя энергия и теплота политропного процесса. Исследование политропного процесса. Второй закон термодинамики. Положения второго закона термодинамики. Прямые и обратные циклы. Цикл Карно. Теорема Карно. Интеграл Клаузиуса. Термодинамическая шкала температур. Энтропия. Аксиоматика второго закона термодинамики. Энтропийные диаграммы. Изменение энтропии в процессах. TS -диаграмма. HS -диаграмма. Необратимые процессы в изолированных системах. Дифференциальные уравнения термодинамики. Дифференциальные уравнения внутренней энергии, энтальпии, энтропии. Дифференциальные соотношения для теплоемкости. Термические коэффициенты. Реальные газы и пары. Уравнения состояния реальных газов. Парообразование при постоянном давлении. Изменение агрегатного состояния вещества. Параметры состояния жидкости и пара. hs -диаграмма пара. Циклы паросиловых установок. Цикл Ренкина. Цикл парогазовой установки.

1.2. Основные положения, законы, понятия теории теплопроводности. Допущения аналитической теории теплопроводности. Температурное поле и средняя температура тела. Изотермические поверхности и линии теплового тока. Градиент и падение температуры. Основной закон теплопроводности Фурье. Коэффициент теплопроводности вещества. Математическая физика в теории теплообмена. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность однослойной плоской стенки. Теплопроводность однослойной цилиндрической стенки. Графическое изображение теплового потока. Электротепловая аналогия. Теплопередача от горячей жидкости к холодной через многослойную плоскую стенку. Теплопередача от горячей жидкости к холодной. Критический диаметр тепловой изоляции. Аналитическое исследование термических сопротивлений цилиндрических систем. Стационарная теплопроводность при внутреннем тепловыделении. Распространение тепла в неограниченной пластине при равномерном внутреннем тепловыделении. Распространение тепла в бесконечном цилиндре при равномерном внутреннем тепловыделении. Теплопроводность в стержнях. Теплопроводность стержня бесконечной длины. Теплопроводность стержня конечной длины. Распределение тепла при переменном коэффициенте теплопроводности. Плоская стенка. Цилиндрическая стенка. Нестационарные процессы распространения тепла в твердых телах. Общее решение

дифференциального уравнения теплопроводности. Определение температурного поля в неограниченной пластине при конвективном охлаждении. Регулярный тепловой режим. Нагрев тел постоянным тепловым потоком (граничные условия второго рода). Квазистационарный тепловой режим. Упорядоченный или обобщенный тепловой режим. Определение потока тепла на внутренней поверхности.

1.3. Массопроводность капиллярнопористых тел в изотермическом режиме. Основные положения теории влагопроводности материалов. Дифференциальное уравнение влагопроводности для одномерных плоских тел. Расчетные формулы стационарного и нестационарного режима влагопроводности для плоской стенки (неограниченной пластины). Паропроницаемость. Воздухопроницаемость.

Основы конвективного теплообмена. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена. Первая теорема подобия. Вторая теорема подобия. Третья теорема подобия. Критерии теплового подобия. Эмпирические формулы в критериальном виде. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Интегральное соотношение для теплового пограничного слоя. Интегральное соотношение для гидродинамического пограничного слоя. Теплообмен при ламинарном движении жидкости. Теплообмен при изменении агрегатного состояния. Теплообмен при кипении жидкости. Теплообмен при конденсации пара. Тепловые трубки. Теплообмен излучением. Основные положения и понятия. Основные законы теплового излучения. Лучистый теплообмен между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве. Особенности излучения газов. Методы определения взаимных поверхностей лучистого теплообмена. Аналитический метод. Графический метод. Алгебраический метод определения взаимных поверхностей в замкнутой системе тел. Примеры определения взаимных поверхностей (угловых коэффициентов) алгебраическим методом.

1.4. Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Теплоотдача при естественной конвекции. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния рабочего тела. Ориентировочные значения коэффициентов теплоотдачи. Теплопередача. Сложный теплообмен. Интенсификация теплопередачи.

2. Теория горения и теплогенерирующие установки.

2.1. История и перспективы развития отечественной теплоэнергетики. Вклад российских и мировых ученых в развитие теплоэнергетики. Состояние и перспективы развития энергетики России. Канско-Ачинский топливно-энергетический комплекс. Место теплогенерирующей установки в тепловой схеме энергетической и промышленной электростанции. Принципиальная схема современной теплогенерирующей установки.

2.2. Энергетическое топливо. Основные определения, классификация. Органическое топливо. Общие положения. Происхождение органического топлива. Состав топлива. Материальные балансы процессов горения. Теоретически необходимое для горения количество воздуха. Теоретические объемы продуктов полного сгорания топлив. Действительные объемы продуктов сгорания при полном и неполном горении. Тепловой баланс и КПД теплогенерирующей установки. Основные составляющие теплового баланса. Располагаемое и полезно используемое тепло. Потери тепла с уходящими газами. Потери тепла от химической неполноты сгорания. Потери тепла от механической неполноты сгорания топлива. Потери тепла в окружающую среду. Потери с физическим теплом шлака. Составление золотого баланса.

2.3. Основы теории горения. Кинетика химических реакций. Порядок химических реакций. Энергия активации. Понятие о цепных реакциях. Простые (неразветвленные) реакции горения. Сложные или разветвленные реакции горения. Смешанные реакции горения. Сушка, выход и горение летучих веществ, горение углерода (коксовой основы). Диффузная и кинетическая области гетерогенного горения. Топочные процессы. Смесеобразование. Основные стадии процесса горения топлива. Количественные

показатели и качественная характеристика топочного процесса. Слоевые топки. Классификация слоевых топок. Смесеобразование при слоевых процессах. Работа слоевой топки. Методы механизации слоевых процессов. Топки с шурующей планкой. Топки с подвижным слоем топлива. Топки с цепными решетками. Принципиальная схема и условия работы цепной решетки. Огневая работа слоя и топки. Аэродинамическая схема цепной решетки. Показатели работы топок с цепными решетками. Наклонно-переталкивающие решетки. Топки с обратно-переталкивающей решеткой, «каскадные» топки. Топки с нижней подачей топлива. Шахтно-цепная топка для кускового торфа системы профессора Макарьева. Топки с двухступенчатым очагом горения (факельно-слоевая). Области применения различных типов слоевых топок.

2.4. Пылеприготовление. Пыль и ее характеристика. Физические свойства пыли. Тонкость помола пыли. Основные законы измельчения материалов. Выбор экономически выгодной тонкости помола угля. Коэффициент размолоспособности и способы его определения. Взрывобезопасность пылевоздушных смесей. Абразивность летучей золы. Сушка топлива в процессе пылеприготовления. Цели и задачи сушки. Процесс сушки. Мельница как сушильный агрегат. Тепловой баланс сушильно-мельничной системы. Порядок расчета сушильной производительности мельницы. Газовые барабанные сушилки. Паровые трубчатые сушилки. Трубы-сушилки. Классификация схем пылеприготовления. Индивидуальная схема пылеприготовления без промбункера. Схема с промбункером. Разомкнутая схема пылеприготовления. Центральная схема пылеприготовления. Элементы пылеприготовительных установок. Питатели сырого угля. Сепараторы (пылеразделители). Пылеотделители. Мигалки. Питатели пыли. Пылеугольные бункеры. Классификация пылеугольных мельниц. Шаровые барабанные мельницы. Быстроходные молотковые мельницы. Шахтные молотковые мельницы. Мельницы-вентиляторы. Мельницы среднеходные. Пневмомельницы.

2.5. Пылеугольные и вихревые топки. Смесеобразование и горение при факельных процессах. Типы пылеугольных топок. Топочные устройства мощных энергетических блоков. Цельносварные экраны теплогенерирующих установок. Высокотемпературная коррозия экранов. Типы пылеугольных горелок. Работа топок с упрощенной системой пылеприготовления. Шлакование пылеугольных топок и борьба с ним. Топки с жидким шлакоудалением. Растопка пылеугольных топок. Циклонный принцип сжигания топлива. Пневматические топки ЦКТИ – Шершнева и ЛПИ – Померанцева. Подготовка и подача жидкого и газообразного топлива к теплогенерирующим установкам. Приемные устройства мазута. Технологическая схема подготовки мазута. Технологическая схема подачи газового топлива. Топки для сжигания жидкого и газообразного топлива. Некоторые особенности сжигания жидкого топлива. Типы мазутных форсунок. Особенности сжигания газообразного топлива. Горелки для газообразного топлива. Смешанное сжигание газообразного и твердого топлива.

2.6. Пароперегреватели. Общие положения. Классификация и конструкция пароперегревателей. Тепловая и гидродинамическая неравномерность в работе пароперегревателя. Анализ причин аварий перегревателей, меры предупреждения и борьбы с авариями. Режим работы пароперегревателя при растопке. Регулирование температуры перегретого пара. Поверхностные пароохладители. Пароохладители впрыскивающего типа. Регулирование температуры перегрева путем смешения перегретого пара с насыщенным. Комбинация радиационного и конвективного пароперегревателей. Газовое регулирование температуры перегрева. Особенности регулирования вторичного перегрева пара. Газовые методы регулирования промежуточного перегрева пара. Паровые методы регулирования промежуточного перегрева.

2.7. Водяные экономайзеры. Классификация водяных экономайзеров. Чугунные экономайзеры. Стальные экономайзеры. Растопочный режим экономайзера. Борьба с внутренней и наружной коррозией. Воздухоподогреватели. Назначение воздухоподогревателей. Типы и конструкции воздухоподогревателей. Пластинчатый

рекуперативный воздухоподогреватель. Трубчатые рекуперативные воздухоподогреватели. Регенеративные воздухоподогреватели. Чугунные воздухоподогреватели. Коррозия воздухоподогревателей и меры борьбы с ней.

2.8. Развитие теплогенерирующих систем. Классификация теплогенераторов. Жаротрубные котлы и котлы с дымогарными трубками. Горизонтально-водотрубные котлы. Вертикально-водотрубные котлы. Однobarабанные радиационные паровые котлы с естественной циркуляцией. Переход к высоким параметрам пара. Паровые котлы с многократной принудительной циркуляцией. Развитие прямоточного котлостроения. Современные паровые котлы малой мощности. Компоновка котлов большой паропроизводительности. Арматура и гарнитура котла. Котельная арматура. Гарнитура котла. Каркас и обмуровка. Каркас как опорная конструкция котлоагрегата. Конструкция обмуровки. Естественная циркуляция в паровых котлах. Задачи естественной циркуляции. Основные термины, определения и обозначения. Влияние коллекторов на распределение воды и пара по трубам. Методы получения чистого пара. Качество пара и его значение. Влияние объема парового пространства и качества котловой воды на качество пара. Схемы и конструкции сепарирующих устройств. Промывка пара. Ступенчатое испарение ВТИ (системы Рамзина). Методы очистки поверхностей нагрева от золовых и шлаковых отложений. Очистка поверхностей нагрева от образующихся золовых отложений методом обдувки. Виброочистка поверхностей нагрева. Дробеочистка «хвостовых» поверхностей нагрева.

3. Теория и методы расчета тепловых двигателей

3.1. Общие сведения. Основные понятия. Классификация тепловых двигателей. Паровые турбины. Газовые турбины. ДВС. Газовая динамика. Общие понятия о течении жидкости в лопаточных каналах. Геометрические характеристики решеток профилей. Силовое воздействие потока рабочего тела на рабочие лопатки. Тепловой процесс в турбинной ступени. Расширение пара в сопловых и направляющих каналах. Расширение пара в косом срезе котла. Расширение пара при нерасчетных условиях. Преобразование энергии на рабочих лопатках. Определение размеров лопаток. Потери в тепловых двигателях и к.п.д. ступени. Классификация потерь. Потеря в клапанах. Потеря в соплах. Потеря на рабочих лопатках. Потеря с выходной скоростью. Потеря на трение дисков о пар и вентиляцию. Потеря через внутренние зазоры. Потеря от влажности. Внешние потери.

3.2. Ступень теплового двигателя и ее основные параметры. Тепловые двигатели со ступенями давления. Тепловой процесс в многоступенчатом тепловом двигателе. Коэффициент возврата тепла. Тепловые двигатели с отбором пара на регенерацию. Схема и порядок расчета многоступенчатого теплового двигателя. Предельные и единичные мощности теплового двигателя. Расчет осевых усилий. Работа теплового двигателя на переменном режиме.

3.3. Конструкции тепловых двигателей. Конструкции и расчет на прочность деталей тепловых двигателей. Конструкции и расчет на прочность роторов и их деталей. Конденсаторы паровых турбин.

3.4. Газотурбинные установки. Теплорасширительные машины. Двигатели внутреннего сгорания. Общие сведения и классификация. Смесеобразование в ДВС. Технико-экономические показатели ДВС. Тепловой баланс двигателя.

4. Теплоэнергетические установки

4.1. Классификация тепловых и промышленных электростанций. Виды потребления энергии. Графики нагрузок. Технологическая схема паротурбинной теплоэнергетической установки. Основные технические требования к теплоэнергетическим установкам.

4.2. Показатели экономичности теплоэнергетических установок. Рабочий процесс конденсационной теплоэнергетических установок, ее КПД и удельные показатели. Типы теплоэнергетических установок, их рабочий процесс и показатели тепловой экономичности.

Технико-экономические показатели теплоэнергетических установок. Методы повышения экономичности теплоэнергетических установок. Влияние начальных параметров пара на тепловую экономичность теплоэнергетической установки. Промежуточный перегрев пара. Технико-экономический выбор параметров пара и способов расширения теплоэнергетической установки. Регенеративный подогрев питательной воды. Типы регенеративных подогревателей и схемы их включения.

4.3. Потери пара и конденсата на теплоэнергетических установках и подготовка питательной воды. Внутренние и внешние потери теплоносителей и их влияние на КПД теплоэнергетической установки. Химические методы водоподготовки и водный режим теплоэнергетических установок. Термическая подготовка в испарителях и выбор метода водоподготовки теплоэнергетической установки. Термическая деаэрация воды для теплоэнергетической установки.

4.4. Способы отпуска теплоты потребителям от теплоэнергетической установки. Технологическая тепловая нагрузка. Системы теплоснабжения. Сетевые подогревательные установки. Регулирование отпуска теплоты. Тепловые схемы теплоэнергетических установок и их расчет. Составление тепловой схемы теплоэнергетических установок. Примеры тепловых схем современных теплоэнергетических установок. Методы расчета принципиальных тепловых схем теплоэнергетических установок. Полные тепловые схемы теплоэнергетических установок.

4.5. Выбор оборудования теплоэнергетических установок и вопросы его маневренности. Питательные насосы. Выбор вспомогательного оборудования. Маневренные характеристики теплогенерирующих установок и тепловых двигателей. Методы покрытия пиков и провалов нагрузки. Пусковые схемы теплоэнергетических установок. Тепловой и конструкторский расчеты теплообменных аппаратов. Расчет регенеративных и сетевых подогревателей. Расчет испарителей и паропреобразователей. Расчет термических деаэраторов. Трубопроводы теплоэнергетических установок. Категории, сортамент и материалы трубопроводов. Расчет трубопроводов на прочность и самокомпенсация температурных удлинений. Расчет гидравлических и тепловых потерь в трубопроводах и их тепловая изоляция. Дренажное паропроводов. Трубопроводная арматура. Технико-экономический выбор проходных сечений и числа ниток трубопроводов.

4.6. Компоновка теплоэнергетических установок. Выбор места строительства и размещения сооружений на генеральном плане теплоэнергетических установок. Основные требования к компоновкам главных зданий теплоэнергетических установок. Вспомогательное хозяйство теплоэнергетических установок. Техническое водоснабжение теплоэнергетических установок. Топливное хозяйство теплоэнергетических установок. Газоочистка, золошлакоудаление и охрана окружающей среды.

4.7. Теплоснабжение. Теплоснабжение промышленных предприятий. Отопление. Вентиляция. Кондиционирование воздуха.

4.8. Повышение эффективности использования теплоэнергетических ресурсов. Энергетический и эксергетический методы оценки несовершенства технологических процессов. Основные способы организации энергосберегающих технологий. Утилизация вторичных энергоресурсов.

Основная литература

1. Ляшков В.И. Теоретические основы теплотехники. М.: Машиностроение-1. 2005
2. Луканин В.Н. Теплотехника. М.: Высшая школа. 1999.
3. Лашутина Н.Г. и др. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики. Л.: Машиностроение. 1988
4. Петухов Б.С. Вопросы теплообмена. М.: Наука. 1987.
5. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. М.: МЭИ. 2005

6. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981.
7. Бойко, Е.А. Котельные установки и парогенераторы / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, С.А. Михайленко. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2009.
8. Липов, Ю. М. Котельные установки и парогенераторы / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003.
9. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Изд. 3-е, перераб. и доп. С.-Петербург: НПО ЦКТИ-ВТИ. 1998.
10. Костюк А.Г., Фролов В.В. Турбины тепловых и атомных электрических станций. М. МЭИ. 2001.
11. Цанев С.В. и др. Газотурбинные и парогазовые установки. М.: МЭИ. 2002.
12. Рихтер Л.А. и др. Вспомогательное оборудование теплогенерирующих установок. М.: Энергоатомиздат. 1987.
13. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты. М. Энергоатомиздат. 1998.
14. Назмеев Ю.Г., Мингалеева Г.Р. Системы топливоподачи и пылеприготовления. М.: МЭИ. 2005.
15. Стерман Л.С. и др. Тепловые и атомные электрические станции. М.: МЭИ. 2004.
18. Клименко А.В. и др. Теплотехника и теплоэнергетика. Книга 3. Справочник. М.: МЭИ. 2003.

Руководитель магистерской программы

Е.А. Бойко
проф., д-р техн. наук