

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



УТВЕРЖДАЮ
Директор ЭНИИ
Боровиков Ю.С.
«27» 02 2014 г.

ПРОГРАММА
Государственного экзамена по направлению
140100 «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА» (БАКАЛАВР)

Обеспечивающие кафедры – Автоматизации теплоэнергетических процессов (АТП)
Атомных и тепловых электростанций (АТЭС)
Теоретической и промышленной теплотехники (ТПТ)

Курс – 4
Семестр – 8
Учебный план набора 2010 года

Заведующий кафедрой АТП



И.П. Озерова

Заведующий кафедрой АТЭС

 27.02.14.

А.С. Матвеев

Заведующий кафедрой ТПТ

 28.02.14

Г.В. Кузнецов

Руководитель ООП



А.М. Антонова

2014



Предисловие

Программа составлена на основе ФГОС и ООП ТПУ направления подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Программа утверждена на заседании Ученого совета ЭНИН
«__» февраля 2014 г. протокол №__

Программа государственного экзамена по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» составлена на основе рабочих программ дисциплин: «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Гидрогазодинамика», «Котельные установки», «Котельные установки и парогенераторы», «Метрология, сертификация, технические измерения и автоматизация тепловых процессов».

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА

1. Основные понятия и определения термодинамики

Техническая термодинамика как теоретическая база специальных дисциплин. Предмет и методы термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Теплота и работа как форма передачи энергии. Термические параметры состояния. Уравнение состояния. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы). Общие свойства параметров состояния.

2. Смеси идеальных газов

Парциальные давления и объем. Законы Дальтона. Способы задания состава смеси. Соотношения между долями. Вычисление параметров состояния смеси, определение кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной смеси, определение парциальных давлений компонентов.

3. Теплоемкость

Понятие теплоемкости. Средняя и истинная теплоемкости. Массовая, объемная и молярная теплоемкости. Теплоемкость при постоянных объеме и давлении. Теплоемкость в произвольном термодинамическом процессе. Молекулярно – кинетическая теория теплоемкости газов. Элементы квантовой теории теплоемкости. Таблицы и эмпирические формулы для определения теплоемкости. Теплоемкость смеси рабочих тел.

4. Первый закон термодинамики

Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа – формы передачи энергии. Принцип эквивалентности. Работа расширения. Внутренняя энергия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Техническая (внешняя, располагаемая) работа. Работа перемещения. Энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию. Формулировки первого закона термодинамики. Выражение первого закона термодинамики для процессов с трением.

5. Второй закон термодинамики

Обратимые и необратимые процессы. Формулировки второго закона термодинамики. Термодинамические циклы. Прямые и обратные циклы. Термический коэффициент полезного действия цикла теплового двигателя. Обратимые и необратимые циклы. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия. Теорема Карно. Энтропия как функция состояния. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для обратимых процессов. Энтропия идеального газа. $T-s$ – диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в $T-s$ – диаграммах. Термодинамическая шкала температур. Абсолютный нуль температуры. Аналитическое выражение второго закона термодинамики для необратимых процессов. Изменение энтропии замкнутой изолированной системы при необратимых процессах. Эксергия как мера работоспособности. Эксергия тепла и потока вещества. Потери эксергии при необратимых процессах. Энтропийный метод расчета потерь эксергии системы при необратимых процессах.

Статистический смысл второго закона термодинамики. Энтропия и термодинамическая вероятность состояния. Пределы применимости второго закона термодинамики.

6. Характеристические функции и дифференциальные уравнения термодинамики

Характеристические функции. Свободная энергия. Термодинамический потенциал. Химический потенциал. Аналитические зависимости между характеристическими функциями. Основные дифференциальные уравнения термодинамики. Термические коэффициенты и связь между ними. Зависимость между C_p и C_v вещества.

7. Термодинамика идеального газа. Термодинамические процессы

Внутренняя энергия, энтальпия и энтропия веществ в идеальном – газовом состоянии. Таблицы термодинамических свойств идеальных газов. $T-s$ - и $h-s$ - диаграммы идеальных газов и их свойства. Основные термодинамические процессы идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный). Политропные процессы и их анализ. Расчет параметров состояния и энергетических характеристик процессов по таблицам идеальных газов.

8. Термодинамика реального газа. Водяной пар

Термодинамические свойства реальных веществ. $p-v$ - диаграмма при фазовых переходах жидкости и газа. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критические параметры веществ.

Принцип соответственных состояний и подобие термодинамических свойств веществ. $T-v-p$ - диаграмма. Коэффициент сжимаемости. Условия равновесия при фазовом переходе. Правило фаз Гиббса. Парообразование и конденсация. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Теплота фазового перехода. Степень сухости. Плавление. Сублимация. Фазовая диаграмма $p-t$. Тройная точка. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса. Аномалии воды. Удельный объем, энтальпия и энтропия жидкости, влажного, сухого и перегретого пара. Сверхкритическая область состояний пара. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара. $T-s$ - диаграмма для пара. $h-s$ - диаграмма водяного пара. Расчет процессов изменения состояния водяного пара по таблицам и диаграммам.

Уравнения состояния реальных газов.

9. Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров

Уравнение первого закона термодинамики для потока. Уравнение неразрывности потока. Определение количества тепла для потока. Располагаемая работа. Параметры полного адиабатного торможения потока.

Сопло и диффузор. Скорость истечения газа из суживающегося сопла. Максимальный расход и критическая скорость. Критическое отношение давлений и температур. Критическая скорость и скорость звука. Число Маха - Майевского. Зависимость скорости и расхода от отношения начального и конечного давлений. Условия перехода скорости потока через скорость звука. Комбинированное сопло Лавалья. Расчет скорости истечения водяного пара по изменению энтальпии. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости, потерь кинетической энергии и расхода.

Понятие о тепловом сопле. Уравнение процесса дросселирования. Техническое применение процесса дросселирования. Дросселирование идеального газа. Дросселирование водяного пара в $h-S$ - диаграмме. Потеря эксергии потока при дросселировании. Дифференциальное уравнение адиабатного дроссель – эффекта. Температура инверсии. Кривая инверсии.

10. Термодинамика смесей и растворов

Смещение газов и паров. Основные случаи смешения. Смещение потоков газов и паров.

Парогазовые смеси. Влажный воздух. Абсолютная и относительная влажность. Температура точки росы. Влагосодержание. $h-d$ - диаграмма влажного воздуха.

Термодинамические процессы с влажным воздухом (охлаждение и нагрев, смешение, сушка).

11. Процессы в компрессорах

Классификация компрессоров и принцип действия. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатие. Затрата работы на привод компрессора. Многоступенчатый компрессор. Оптимальное распределение давления по ступеням. Расчет мощности привода и отводимого при охлаждении тепла. Работа компрессора в $p-v$ - и $T-S$ - диаграммах. Необратимое сжатие. Относительный внутренний и эксергический КПД компрессора.

12. Газовые циклы

Циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Индикаторная диаграмма и цикл двигателя. Циклы с подводом теплоты при постоянном объеме, давлении, цикл со смешанным подводом теплоты и их коэффициенты полезного действия. Сравнение циклов двигателей внутреннего сгорания. Термодинамический анализ коэффициента полезного действия циклов по средним температурам подвода и отвода теплоты. Удельная объемная работа. Удельный расход теплоты и топлива.

Циклы газотурбинных установок (ГТУ). Принципиальная схема и циклы газотурбинных установок с подводом теплоты при постоянных давлении или объеме. Термический коэффициент полезного действия идеального цикла.

Действительный цикл и его коэффициент полезного действия. Методы повышения коэффициента полезного действия циклов газотурбинных установок. Отношение работы компрессора к работе турбины. Повышение начальной температуры газа перед турбиной. Оптимальная степень повышения давления. Регенерация теплоты в цикле. Многоступенчатое сжатие и ступенчатый подвод теплоты в цикле.

Замкнутые схемы газотурбинных установок. Рабочие тела замкнутых схем. Цикл газотурбинной установки с подводом теплоты при постоянном объеме.

13. Циклы паротурбинных установок

Циклы паротурбинной установки в $p-v$ - и $T-s$ - диаграммах. Принципиальная схема паротурбинной установки. Работа турбины и питательного насоса. Термический коэффициент полезного действия цикла паротурбинной установки. Расчет термического коэффициента полезного действия цикла в $h-s$ - диаграмме и по таблицам водяного пара. Методы повышения термического коэффициента полезного действия цикла паротурбинной установки. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический коэффициент полезного действия цикла. Применение пара высоких параметров. Действительный цикл с необратимым адиабатным расширением пара. Коэффициент полезного действия паротурбинной установки. Удельные расходы пара, тепла и топлива.

Вторичный перегрев пара. Причины применения вторичного перегрева пара. Цикл со вторичным перегревом пара в $T-s$ - и $h-s$ - диаграммах. Принципиальная схема паротурбинной установки со вторичным перегревом пара. Оптимальная температура начала вторичного перегрева пара. Цикл паротурбинной установки при сверхкритических параметрах пара. Циклы с двумя промежуточными перегревами пара.

Регенеративные циклы. Регенеративный подогрев питательной воды. Идеальный и теоретический регенеративные циклы. Схема регенеративного подогрева с отборами пара. Изображение регенеративных циклов в $T-s$ - и $h-s$ - диаграммах. Термический коэффициент полезного действия регенеративного цикла. Оптимальная температура подогрева питательной воды и максимальный коэффициент полезного действия регенеративного цикла. Приrost коэффициента полезного действия регенеративного цикла в зависимости от числа оборотов.

Комбинированные циклы. Преимущества и недостатки водяного пара как рабочего тела. Бинарный цикл и его коэффициент полезного действия. Принципиальная схема бинарной паротурбинной установки. Комбинированные парогазовые циклы. Термический коэффициент полезного действия парогазовых циклов. Термодинамические циклы атомных электростанций. Термодинамические основы теплофикации.

Эксергический и тепловой балансы паротурбинных установок. Эксергический коэффициент полезного действия.

14. Циклы холодильных установок и термотрансформаторов

Обратный цикл Карно. Холодильный коэффициент. Схема и цикл воздушной холодильной установки. Термодинамические свойства рабочих тел парокомпрессионных холодильных установок. Схема, цикл и холодильный коэффициент парокомпрессионной холодильной установки. Схема и принцип работы абсорбционной холодильной установки.

Цикл теплового насоса – термотрансформатора. Отопительный коэффициент. Термодинамические сравнения эффективности насоса и теплофикации.

15. Элементы химической термодинамики

Первый закон термодинамики и термохимии. Тепловой эффект реакции. Зависимость теплового эффекта реакции от температуры. Стандартный тепловой эффект. Второй закон термодинамики в термохимии. Закон действующих масс. Константа равновесия и максимальная работа реакции. Зависимость константы равновесия от давления и температуры. Тепловая теорема Нернста. Абсолютная энтропия. Стандартные значения термодинамических функций веществ.

16. Методы непосредственного преобразования теплоты в электроэнергию

Методы непосредственного преобразования теплоты в электроэнергию. Схема, цикл и коэффициент полезного действия установки с магнитогидродинамическим генератором. Термоэлектрические генераторы и их коэффициент полезного действия. Термодинамические основы преобразования энергии в топливных элементах.

ТЕПЛОМАССОБМЕН

1. Основные понятия и определения теории тепломассообмена

Основные процессы передачи теплоты и массы. Основные понятия и определения. Виды переноса теплоты: теплопроводность, конвекция, излучение. Теплоотдача. Теплопередача. Макроскопический характер учения о теплоте. Современные проблемы тепломассообмена.

2. Инженерные методы расчета видов теплопереноса

Основные понятия и определения теплопроводности. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Механизм передачи теплоты в металлах, диэлектриках, жидкостях и газах. Теплопроводность однослойной и многослойных плоских, цилиндрических и сферических стенок. Основные понятия и определения конвективного теплообмена. Закон Ньютона–Рихмана. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Теплообмен излучением. Понятие о сложном теплообмене.

3. Теория теплопроводности

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности для процессов теплопроводности. Коэффициент температуропроводности.

Теплопроводность при стационарном режиме без внутренних источников теплоты:

Передача теплоты через однослойную и многослойную плоские стенки при граничных условиях I рода. Распределение температур при переменном и постоянном коэффициенте теплопроводности. Передача теплоты через однослойную и многослойную цилиндрическую стенки при граничных условиях I и III рода. Линейный коэффициент теплопередачи. Критический диаметр изоляции. Передача теплоты через шаровую стенку.

Способы интенсификации процессов теплопередачи. Теплопроводность в стержне (ребре) постоянного поперечного сечения. Теплопередача через плоскую ребристую стенку.

Теплопроводность при стационарном режиме с внутренними источниками теплоты:

Теплопроводность в неограниченной плоской стенке и круглом стержне в случае постоянного коэффициента теплопроводности при наличии внутренних источников теплоты.

Теплопроводность в неограниченной цилиндрической стенке при наличии внутренних источников теплоты и:

- а) отводе теплоты через наружную поверхность;
- б) отводе теплоты через внутреннюю поверхность;
- в) отводе теплоты через наружную и внутреннюю поверхности.

Теплопроводность при нестационарном тепловом режиме

Методы решения задач теплопроводности при нестационарном режиме. Теплопроводность бесконечной пластины, длинного цилиндра при граничных условиях III рода. Анализ решений, частные случаи (термически тонкое тело, построение и использование номограмм для расчета температур при нестационарной теплопроводности). Теорема о теплопроводности тел конечных размеров при нагревание (охлаждение) на примерах параллелепипеда и цилиндра конечной длины.

Определение количества теплоты, отдаваемого или воспринимаемого телом в процессе нестационарной теплопроводности.

Регулярный режим нагревания (охлаждения) тел. Численные методы решения задач теплопроводности. Использование ЭВМ.

4. Конвективный теплообмен

Основы метода подобия и моделирования

Основные положения конвективного теплообмена. Теплоотдача в однофазных жидкостях, при фазовых и химических превращениях, при вынужденной и естественной конвекции. Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процессов течения и теплоотдачи.

Особенности теплообмена при ламинарном и турбулентном течениях жидкости. Динамический и тепловой пограничный слой. Основные допущения теории плоского пограничного слоя. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена, условия однозначности.

Основы метода подобия и моделирования. Пи – теорема, приведение уравнений конвективного теплообмена к безразмерному виду. Числа подобия. Общие условия подобия физических процессов, свойства подобных процессов. Сущность моделирования. Обобщение опытных данных и получение эмпирических зависимостей.

Конвективный теплообмен в однофазной среде

Теплоотдача при свободном течении жидкости у вертикальной стенки, вблизи горизонтальных труб и пластин. Анализ задачи о конвективном теплообмене при свободном движении жидкости методом подобия. Расчетные уравнения для теплоотдачи. Теплообмен при свободной конвекции в замкнутых объемах. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности. Характер вынужденного неизотермического течения и теплообмена на плоской поверхности.

Теплоотдача при ламинарном течении в пограничном слое, метод теоретического расчета; расчетные уравнения, полученные опытным путем.

Теплоотдача при турбулентном течении в пограничном слое. Осреднение уравнений неразрывности, движения и энергии для турбулентных потоков; коэффициенты турбулентного переноса количества движения и теплоты. Метод полуэмперического расчета, расчетные уравнения, полученные опытным путем.

Конвективный теплообмен при вынужденном течении в трубах. Особенности течения и теплообмена. Начальные участки гидродинамической и тепловой стабилизации. Стабилизированное течение.

Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении жидкости в трубах. Современные методы расчета теплообмена с использованием ЭВМ. Расчетные уравнения, полученные опытным путем.

Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб, расчетные уравнения.

Течения и теплообмен при движении жидкометаллических теплоносителей. Результаты решения уравнений пограничного слоя. Критериальные уравнения.

Теплообмен при фазовых превращениях

Теплообмен при конденсации пара. Пленочная и капельная конденсация. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу.

Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи.

Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатом пучков труб, изменение теплоотдачи по рядам, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб.

Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей. Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевой угол. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих центров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Кривая кипения при "паровом" и "электрическом" обогреве.

Первая и вторая критические плотности теплового потока. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме.

Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.

Конвективный тепло- и массообмен

Основные положения теории массообмена. Концентрационная термо- и бародиффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Факторы, влияющие на коэффициент диффузии.

Конвективный массообмен как совокупность молярного и молекулярного переноса вещества. Плотность потока массы в процессе конвективного массообмена.

Диффузионный пограничный слой. Система дифференциальных уравнений диффузионного пограничного слоя. Граничные условия на поверхности раздела фаз. Коэффициент массоотдачи. Применение методов подобия и размерностей к процессам массообмена. Диффузионное число Нуссельта, диффузионное число Прандтля. Аналогия процессов тепло- и массообмена.

5. Теплообмен излучением

Основные понятия и законы. Природа теплового излучения. Лучистый поток. Плотность лучистого потока. Интенсивность излучения. Поглощательная, отражательная и пропускательная способность тел. Законы излучения абсолютно черного тела: Стефана –

Больцмана, Планка, Вина. Серое тело. Степень черноты. Закон Кирхгофа для монохроматического и интегрального излучения. Закон Ламберта.

Теплообмен излучением между телами, разделенными прозрачной средой. Виды лучистых потоков, их взаимная связь. Интегральные уравнения излучения. Угловые коэффициенты и взаимные поверхности. Методы определения угловых коэффициентов. Зональный метод расчета теплообмена излучением. Расчет теплообмена излучением в системе двух тел. Особенности теплообмена излучением в поглощающих средах, теплообмена излучением между излучающим газом или паром и теплообменной поверхностью.

6. Теплопередача со сложным теплообменом

Сложный теплообмен как совокупность одновременно протекающих процессов теплопроводности, конвекции и излучения. Теплопередача со сложным теплообменом на границах: расчет теплотерь трубопроводов, газоходов и т.п., расчет теплопередачи в пучках трубок; расчет сложного теплообмена внутренних поверхностей каналов с движущимся внутри них диатермичным газом при неодинаковых температурах стенок.

7. Теплообменные аппараты

Общие сведения. Назначения теплообменников. Их классификация по принципу действия. Основы теплового и гидравлического расчета теплообменников; конструкторский и поверочный расчет. Уравнение теплового баланса и уравнение теплопередачи.

Средний температурный напор. Определение среднего температурного напора для основных схем движения теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока. Определение поверхности теплообмена при переменном коэффициенте теплопередачи. Вычисление конечной температуры теплоносителей. Выражение для полного падения давления в теплообменнике. Затраты напора, обусловленные ускорением потока и преодолением гидростатического давления столба жидкости. Мощность, необходимая для перемещения теплоносителя.

ГИДРОГАЗОДИНАМИКА

Основные понятия и определения. Жидкость и ее свойства. Идеальная и реальная (вязкая) жидкости. Основные способы и виды движения жидкости: неустановившееся, установившееся, пространственное, плоское и одномерное.

1. Пространственное движение жидкости

Деформация элементарной частицы движущейся жидкости и понятие о теореме Гельмгольца-Коши. Потенциальное и вихревое движение жидкости. Потенциал скорости, функция тока. Линии тока и их уравнения.

Дифференциальное уравнение неразрывности потока. Уравнение Лапласа. Граничные условия. Понятие о методах исследования потенциальных течений.

Вихревое движение и его локализация в потоке. Вихревая линия и вихревая трубка. Циркуляция скорости. Теорема Стокса.

2. Динамика вязкой жидкости

Распределение массы в сплошной среде. Силы, действующие в жидкости: объемные (массовые) и поверхностные. Тензор напряжений. Уравнение динамики сплошной среды в напряжениях. Обобщенный закон Ньютона. Уравнение движения вязкой жидкости Навье - Стокса.

3. Основные уравнения и теоремы динамики идеальной жидкости и газа

Модель идеальной жидкости. Уравнение движения идеальной жидкости - уравнение Эйлера. Уравнение Бернулли для идеальной жидкости (несжимаемой). Уравнение Бернулли для изотермического и адиабатического течения идеального газа. Общая форма

уравнения энергии для установившегося движения сжимаемой жидкости. Скорость распространения звука. Числа Маха и коэффициент скорости. Понятие о газодинамических функциях и о газодинамических таблицах. Переход газового потока через критическую скорость и внешние воздействия. Уравнения обращения воздействия и его анализ.

Уравнения Гюгонио и Вулиса. Сопло Лаваля. Режимы работы сопла Лаваля. Распространение слабых возмущений в идеальном газе. Конус и угол Маха.

Прямой скачок уплотнения. Основные уравнения скачка и уравнение ударной адиабаты. Изменение параметров газа при переходе через скачок.

Косой скачок уплотнения (как прямой, сносимый вдоль фронта). Физические причины образования уплотнения при обтекании характерной формы.

4. Равновесие жидкости и газа

Напряжение в покоящейся жидкости. Уравнение равновесия жидкости и газа. Равновесие несжимаемой жидкости в поле сил тяжести и сжимаемой. Баротропное равновесие газа. Бароклинная атмосфера, формулы Бьеркнеса. Относительное равновесие. Силы давления на плоские и криволинейные стенки.

5. Одномерные течения вязкой несжимаемой жидкости

Основные признаки и свойства одномерных течений. Плавноизменяющееся движение и закон распределения скорости по сечению. Средняя скорость и расход. Обобщение уравнения Бернулли на поток конечных размеров. Геометрическая и энергетическая интерпретация уравнения Бернулли.

Природа потерь энергии (напора). Классификация гидравлических сопротивлений. Структура общих формул для вычисления потерь. Основное уравнение равномерного движения. Коэффициент гидравлического трения, опытные данные.

Ламинарное и турбулентное течения, опыт Рейнольдса. Ламинарное течение в трубах. Формула Пуазейля. Начальный участок ламинарного течения.

Понятие о гидравлической неустойчивости. Элементы теории турбулентности: уравнение Рейнольдса, добавочные напряжения; полуэмпирические теории турбулентного сопротивления. Гладкостенное течение: распределение скоростей и закон сопротивления. Квадратичный закон сопротивления. Начальный участок при турбулентном течении.

Основные типы местных гидравлических сопротивлений и их расчет. Течения в диффузорах и криволинейных каналах. Сопротивление пучка труб.

Основные задачи расчета трубопроводных систем. Аналитические и графические методы расчета. Построение пьезометрических графиков. Истечение несжимаемой жидкости из отверстий и насадков.

6. Основы теории подобия и гидравлические струи

Основы теории гидродинамического подобия. Пограничный слой. Толщина пограничного слоя и толщина вытеснения. Дифференциальные уравнения Прандтля для ламинарного пограничного слоя. Интегральное соотношение (уравнение количества движения) для ламинарного пограничного слоя на пластине с помощью интегрального соотношения.

Переход ламинарного погранслоя в турбулентный. Критическое число Рейнольдса и положение точки перехода на пластине. Пограничный слой на искривленных поверхностях. Влияние продольного градиента давления и отрыв погранслоя. Определение точки отрыва. Методы управления пограничным слоем.

Затопленные струи. Классификация. Струи свободные, полупограничные и пограничные. Основные закономерности распределения свободной ламинарной струи. Струйный погранслой. Условия турбулизации струи. Свободная турбулентная струя. Закон распределения скоростей. Перенос тепла и диффузия примесей. Полупограничные струи. Структура плоской ограниченной струи. Расчет основных параметров. Ограниченные струи. Закрученная струя в сносящем потоке. Особенности турбулентных газов струи.

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

1. Энергетическое топливо

Энергетическое топливо. Органическое топливо и его ресурсы. Элементарный состав топлива. Пересчет элементарного топлива с одной массы на другую. Теплота сгорания топлива; высшая, низшая; методы их определения. Условное топливо. Выход летучих веществ. Свойства твердого горючего остатка. Влияние летучих веществ на возникновение и развитие горения. Характеристики топливного балласта. Минеральная часть топлива. Технологическая и коллоидная влажности топлива. Сера в топливе. Технические характеристики энергетических топлив (твердого, жидкого и газообразного). Приведенные влажность, зольность и сернистость топлива. Их влияние на работу котельной установки и загрязнение окружающей среды. Классификация и маркировка топлива. Основные месторождения ископаемых топлив. Энерготехнологическое использование энергетических топлив.

2. Горение топлива и эффективность его использования

Материальный баланс процесса горения; теоретически необходимое количество воздуха. Коэффициент избытка воздуха. Состав и объем продуктов сгорания. Уравнения полного и неполного горения. Определение коэффициента избытка по газовому анализу. Энтальпия продуктов сгорания и воздуха, их расчет.

Общее уравнение теплового баланса. Располагаемое тепло. Теплота, затраченная на производство пара. Расход топлива и К.П.Д. парового котла. Составляющие потери теплоты и их анализ. Методы определения химического и механического недожогов. Определение присосов в газоходы котла. Влияние коэффициента избытка воздуха на потери тепла. Основы проведения балансовых испытаний парового котла.

Основы кинетики химических реакций. *Механизм горения твердого газового, жидкого топлив.* Кинетическая и диффузионная области горения. Температура воспламенения. Воспламенение топливно-воздушной смеси. Фронт горения. Интенсивность выгорания топлива. Особенности сжигания жидкого, твердого и газообразного топлива.

3. Теплообмен в поверхностях нагрева и тепловой расчет парового котла

Особенности теплообмена в топке. Тепловые характеристики настенных экранов. Падающий и эффективный тепловой поток. Коэффициент тепловой эффективности и его связь с видом сжигаемого топлива. Угловой коэффициент экрана.

Условный коэффициент загрязнения экранов. Степень экранирования топки. Излучательная способность факела. Тепловая эффективность экранов. Выбор температуры газов на выходе из топочной камеры. Расчет теплообмена в топочной камере. Лучистый теплообмен в газоходах котла. Конвективный теплообмен. Коэффициенты теплопередачи для змеевиковых поверхностей и воздухоподогревателей. Выбор оптимальной скорости продуктов сгорания в конвективных газоходах.

Задачи конструкторского и поверочного расчетов парового котла. Последовательность конструкторского расчета. Распределение тепловосприятий между поверхностями нагрева. Особенности распределения тепловосприятий в прямоточных котлах докритических и сверхкритических параметров. Последовательность поверочного расчета парового котла барабанного и прямоточного.

МЕТРОЛОГИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

1. Основные понятия и определения в метрологии, виды и методы измерений

Теоретические основы метрологии. Физические свойства и величины. Уравнение связи между величинами. Постулаты метрологии. Единицы физических величин. Международная система единиц SI.

Основные этапы процесса измерения. Классификация измерений. Шкалы измерений. Понятие об испытании и контроле.

Взаимосвязь деятельности в области подтверждения соответствия, стандартизации и метрологии на предприятии, техническое регулирование отношений в этих видах деятельности, законодательная и нормативная база. Законы Российской Федерации «О защите прав потребителей», «Об обеспечении единства измерений», «О техническом регулировании».

2. Погрешности измерений, статистическая обработка данных

Погрешность результата измерения. Классификация погрешностей. Систематические и случайные погрешности. Определение источников и разновидностей систематических погрешностей (методическая, от влияющей физической величины и т.д.). Статистическая обработка данных использующая следующие функции: нормальную, треугольную, трапециевидную, равномерную, антимодальную 1, антимодальную 2, Рэля.

3. Средства измерений. Теплотехнические средства измерений. Метрологические характеристики

Средства измерений (СИ), их классификация и свойства. Средства измерения температуры. Термометры расширения, манометрические термометры. Термоэлектрические преобразователи, основы теории термопар. Стандартные термоэлектрические преобразователи. Поправка на температуру свободных концов термопары. Компенсационные провода. Измерительные приборы. Термопреобразователи сопротивления. Стандартные термопреобразователи сопротивления. Автоматические уравновешенные мосты. Средства измерения давления. Деформационные средства измерения давления и разности давлений. Деформационные измерительные преобразователи давления. Дифференциально-трансформаторный преобразователь. Преобразователи с тензорезисторами. Средства измерения уровня жидкостей гидростатическими уровнемерами. Измерение уровня жидкости в сосудах под давлением. средств измерения расхода. Расходомеры переменного перепада давления. Преобразователи перепада давлений и измерительные приборы. Расходомеры электромагнитные, ультразвуковые и тахометрические. Тепломеры и тепловычислители. Шкалы средств измерений. Погрешности СИ. Метрологические характеристики СИ. Нормирование метрологических характеристик. Методы повышения точности СИ. Прямые и косвенные измерения. Однократные и многократные измерения. Классификация СИ. Класс точности СИ. Поверка и калибровка СИ. Выбор СИ. Теплотехнические средства измерений.

4. Метрологическое обеспечение

Нормативная основа обеспечения единства измерений в РФ (ГСИ). Метрологическое обеспечение. Функции метрологических служб. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений».

5. Основные понятия и назначение системы сертификации

Основные понятия в области оценки и подтверждения соответствия. Цели и принципы подтверждения соответствия. Формы подтверждения соответствия: обязательная сертификация, декларирование соответствия и добровольная сертификация.

6. Организация и участники подтверждения соответствия. Нормативные документы в области сертификации

Декларирование соответствия. Объекты сертификации. Обязательная и добровольная сертификация. Системы сертификации. Правила и порядок сертификации объектов. Схемы сертификации. Результат сертификации. Знак обращения на рынке и Знак соответствия. Ин-

спекционный контроль сертифицированных объектов. Нормативные документы сертификации.

7. Основы систем менеджмента качества

Общие требования к системам менеджмента качества. Принципы менеджмента качества. Качество продукции. Объекты аудита при сертификации системы менеджмента качества.

Этапы подготовки к сертификации системы менеджмента качества. Регистрация и выдача сертификата системы менеджмента качества.

8. Автоматические системы регулирования

Структура автоматических систем регулирования Локальные системы автоматического регулирования котельного агрегата и вспомогательного оборудования ТЭС.

Основная литература

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.С. Техническая термодинамика : учебник для вузов. — М. : Изд. дом МЭИ, 2008. — 495 с.
2. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. Ред. чл.-корр. А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2001. — 564 с.
3. Андрианова Т.М. и др. Сборник задач по технической термодинамике. — М. : Изд-во МЭИ, 2000. — 356 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. — М.: Энергоиздат, 1981. — 416 с.
5. Кафаров В.В. Основы массопередачи. — М.: Высшая школа, 1979. — 439 с.
6. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. — М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. — 592 с.
7. Сидельковский Л.Н., Юренев В.И. Котельные установки промышленных предприятий. — М. : Бастет, 2009. — 528 с.
8. Липов Ю.М., Самойлов Ю. Ф., Виленский Т. В. Компонка и тепловой расчет парового котла. — М.: Альянс, 2012. — 208 с.
9. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). — СПб., 1998. — 257 с.
10. Тепловые электрические станции : учебник для вузов / под ред. В. М. Лавыгина, А. С. Седлова, С. В. Цанева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МЭИ, 2007. — 466 с.
11. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции. 2004 г.
12. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. — 7-е изд., стереот. — М.: Издательство МЭИ, 2001. — 472 с.: ил.
13. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина. — 3-е изд. — М.: Изд-во МЭИ, 2004. — 632 с.
14. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб. пособие для вузов. — М.: Логос, 2000. — 408 с.
15. Сергеев А.Г., Латышев М.В. Сертификация: Учебное пособие. — М.: Логос, 2000.—248с.
16. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике : учебник для студентов вузов / Г. П. Плетнев. — М. : МЭИ, 2007. — 352 с.
17. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. — М.: Издательский дом МЭИ, 2007. — 460 с.
18. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам. 2-ое издание. — М.: ЭАИ, 1985. — 328 с.