

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



УТВЕРЖДАЮ
Проректор-директор ЭНИН
Ю.С. Боровиков

« 21 » 06 2011 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 2011 года

Заведующий кафедрой АТП

И.П. Озерова

Заведующий кафедрой АТЭС

Л.А. Беляев

Заведующий кафедрой ТПТ

Г.В. Кузнецов

Руководитель ООП

Л.А. Беляев

2011

Предисловие

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

Программа утверждена на заседании Ученого совета ЭНИН
« 30 » июня 2011 г. протокол № 11

Программа государственного междисциплинарного экзамена по направлению 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» составлена на основе рабочих программ дисциплин: «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Гидрогазодинамика», «Тепловые и атомные электрические станции», «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 дросселя – эффекта. Температура инверсии. Критическая инверсии.

10. Термодинамика смесей и растворов

Смешение газов и паров. Основные случаи смешения. Смешение 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. Прирост 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 полуэмпирического 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 теплопотерь 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 прямого 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 Лавалья. Режимы работы сопла Лавалья. 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.

ТЕПЛОВЫЕ И АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

1. Показатели общей и тепловой экономичности ТЭС

Основные требования, предъявляемые к источникам энергии: экономичность (себестоимость, тариф, расчетные затраты); надежность и методы ее достижения; экологичность.

Показатели тепловой экономичности (ПТЭ) конденсационных тепловых и атомных электростанций: КПД, удельный расход топлива, удельный расход условного топлива.

Особенности определения показателей тепловой экономичности теплоэлектроцентрали (ТЭЦ). Экономия топлива при комбинированном производстве энергии. Коэффициент недовыработки мощности и коэффициент ценности тепла. Разделение расходов тепла и топлива на производство отдельных видов энергии. ПТЭ по выработке электроэнергии и теплоты на ТЭЦ. Теплофикационная и конденсационная электрические мощности ТЭЦ. Удельная выработка электроэнергии на тепловом потреблении.

2. Начальные и конечные параметры рабочего тела, промежуточный перегрев пара

Начальные параметры пара на ТЭС. Влияние начальных параметров на тепловую экономичность: КПД цикла, внутренний относительный КПД, сопряженные параметры. ТЭС со сверхкритическими параметрами.

Промежуточный перегрев пара. Экономичность установки с промежуточным перегревом пара. Оптимальные давление и температура промежуточного перегрева. Двухступенчатый перегрев пара и область его применения. Начальные параметры и промежуточный перегрев пара на ТЭЦ. Паровой промежуточный перегрев.

Начальные параметры пара и материалы оборудования ТЭС. Влияние начальных параметров и промежуточного перегрева на капитальные затраты.

Начальные параметры пара, промежуточный перегрев и сепарация влаги на АЭС.

Конечное давление. Факторы, определяющие выбор конечного давления: расход охлаждающей воды; температура охлаждающей воды; площадь теплопередающей поверхности конденсатора; выхлопная площадь турбины.

3. Регенеративный подогрев питательной воды (РППВ)

Сущность регенеративного подогрева питательной воды - внутростанционная теплофикация. Тепловая экономичность установки с РППВ. Типы регенеративных подогревателей, теплопередача и недогрев. Влияние температуры питательной воды на эффективность РППВ при одно- и многоступенчатом подогреве. Распределение подогрева по ступеням. РППВ в установках с промежуточным перегревом. Схемы включения регенеративных подогревателей.

Регенеративный подогрев питательной воды на ТЭЦ.

4. Отпуск теплоты внешним потребителям

Отпуск технологического пара. Открытая и закрытая схемы отпуска пара. Паропреобразователи.

Отпуск тепла на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Температурный график теплосети. Коэффициент теплофикации. Сетевая подогревательная установка. Расчет сетевой установки.

5. Деаэрационные и питательные установки

Лекции. Термическая деаэрация воды. Типы деаэраторов, используемых на ТЭС. Схемы включения деаэраторов питательной воды. Деаэрация добавочной воды, подпиточной воды теплосети. Бездеаэрационные схемы паротурбинных установок.

Питательные насосы. Мощность, затрачиваемая на привод питательных насосов. Типы привода питательных насосов. Методика выбора привода насоса. Схемы включения турбопривода. Бустерные насосы. Двухподъемная схема включения питательных насосов.

6. Составление и методика расчета принципиальной тепловой схемы паротурбинной электростанции

Содержание принципиальной тепловой схемы (ПТС). Основы составления ПТС. Задачи расчета тепловой схемы.

Методы расчета ПТС: прямая и обратная задачи; энергетический метод и метод коэффициентов ценности тепла; аналитический метод и метод последовательных приближений. Этапы расчета ПТС. Погрешность расчета. Особенности расчета ПТС атомных электростанций.

Расчет тепловых схем методом коэффициентов ценности теплоты. Понятие коэффициентов изменения мощности (КИМ) и коэффициентов ценности теплоты (КЦТ). Определение КИМ и КЦТ. Задачи, решаемые методом КИМ и КЦТ.

7. Газотурбинные и парогазовые электростанции

Влияние начальных параметров на экономичность ГТУ. Методы повышения экономичности ГТУ. Маневренность и мобильность газотурбинных установок.

Установки комбинированного - парогазового цикла: КПД установки; влияние экономичности газотурбинной и паротурбинной частей на интегральный КПД. Соотношение мощностей ПГУ утилизационного цикла. Тепловые схемы парогазовых установок.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

1. Основные понятия и определения.

Понятия автоматического управления, автоматического регулирования. Определение системы автоматического управления, системы автоматического регулирования. Объект управления (регулирования): понятие ОУ (ОР), структурная схема ОУ (ОР), классификация объектов. Алгоритм функционирования системы. Алгоритм управления (регулирования).

2. Фундаментальные принципы управления.

Типовые линейные законы регулирования. Фундаментальные принципы управления (регулирования). Функциональная схема САУ, основные функциональные элементы САУ. Классификация систем автоматического управления.

3. Регулирование тепловой нагрузки.

Регулирование тепловой нагрузки. Свойства котельного агрегата как объекта регулирования тепловой нагрузки. Принципиальные схемы систем регулирования тепловой нагрузки.

4. Регулирование экономичности процесса горения и расхода топлива.

Регулирование экономичности процесса горения. Свойства котельного агрегата как объекта регулирования экономичности процесса горения. Принципиальные схемы систем регулирования.

5. Регулирование температуры перегретого пара.

Регулирование температуры перегретого пара. Методы воздействия на температуру перегретого пара. Свойства котельного агрегата как объекта регулирования температуры перегретого пара. Принципиальные схемы систем регулирования.

6. Регулирование питания барабанных и прямоточных котельного агрегата.

Регулирование питания котельного агрегата водой. Свойства котельного агрегата как объекта регулирования питания. Принципиальные схемы систем регулирования питания.

Литература

Основная

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.С. Техническая термодинамика : учебник для вузов. — М. : Изд. дом МЭИ, 2008. — 495 с.
2. Основы технической термодинамики : учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям направления 140100 «Теплоэнергетика» / С. В. Голдаев, Ю. А. Загромов. — Томск : Изд-во ТПУ, 2009. — 223 с.
3. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. Учебное пособие для вузов / Александров А.А. 2-е изд., стереот. — М.: Изд. дом МЭИ, 2006. — 158 с.
4. Александров А.А. Расчет термодинамических процессов идеального газа. — М.: Изд-во МЭИ, 2008. — 44 с.
5. Цветков Ф.Ф. Тепломассообмен: Учебное пособие для ВУЗов/ Ф.Ф. Цветков, Б.А. Григорьев — 3-е изд., перераб. — М.: Изд. дом МЭИ, 2006. — 550 с.
6. 5. Цветков Ф.Ф. Задачник по тепломассообмену: Учебное пособие /Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. — 2-ое изд., испр. и доп. — М.: Изд. дом МЭИ, 2008, — 196 с.
7. Коновалова Л.С., Загромов Ю.А. Теоретические основы теплотехники. Примеры и задачи. Учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2001. — 116 с.
8. 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.: Изд-во МЭИ, 2001. — 564 с.
9. Лифиц И. М. Стандартизация, метрология и подтверждение соответствия: учебник. — М.: Юрайт: Высшее образование, 2010. — 412 с.
10. Стерман, Лев Самойлович. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л. С. Стерман, В. М. Лавыгин, С. Г. Тишин. — 4-е изд., перераб. и доп.— Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. — 463 с.: ил.— Список литературы: с. 459-460.. — ISBN 978-5-383-00236-0.
11. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В. Д. Буров [и др.]; под ред. В. М. Лавыгина, А. С. Седлова, С. В. Цанева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Изд-во МЭИ, 2007. — 466 с.: ил. — Библиогр.: с. 464-465.. — ISBN 978-5-903072-86-6.
12. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования : справочное пособие / А. С. Ключев [и др.]; под ред. А. С. Ключев. — 3-е изд., стер.. — Москва: Альянс, 2009. — 368 с.: ил.. — Библиогр.: с. 365.. — ISBN 978-5-903034-84-0.
13. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике : учебник для студентов вузов / Г. П. Плетнев. — М.: МЭИ, 2007. — 352 с.
14. Кангин В. В. Промышленные контроллеры в системах автоматизации технологических процессов : учебное пособие / В. В. Кангин. — Старый Оскол: ТНТ, 2012. — 408 с.
15. Острецов, Генрих Эразмович. Методы автоматизации управления движением корабля / Г. Э. Острецов, Л. М. Клячко. — Москва: Физматлит, 2009. — 120 с.: ил.. — Библиогр.: с. 115-119.. — ISBN 978-5-9221-1138-6.
16. Смоленцев, Владислав Павлович. Управление системами и процессами : учебник для вузов / В. П. Смоленцев, В. П. Мельников, А. Г. Схиртладзе; под ред. В. П. Мельникова. — Москва: Академия, 2010. — 336 с.: ил.. — Высшее профессиональное образование. Машиностроение. — Библиогр.: с. 327-328. — Перечень сокращений: с. 8-9.. — ISBN 978-5-7695-5732-3.

Дополнительная:

17. Андрианова Т.М. и др. Сборник задач по технической термодинамике. — М. : Изд-во МЭИ, 2000. — 356 с.

18. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.
19. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия. – 1973. – 319 с.
20. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача / В.В. Нащокин. – М.: Высшая школа. – 1980. – 559 с.
21. Теория теплообмена / под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высшая школа. – 1985. – 385 с.
22. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – Новосибирск: Наука. – 1989. – 416 с.
23. 5. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент : справочник / под ред. В.А. Григорьева. – М.: Энергоиздат. – 1982. – 515 с.
24. Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т. / Под общей редакции чл.-корр. РАН Е. В. Аметистова – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд. дом МЭИ, 2008., Том 1.
25. Тепловые и атомные электростанции: справочник / под ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. — 4-е изд., стер.— Москва: Изд-во МЭИ, 2007. — 648 с.: ил. — Теплоэнергетика и теплотехника: справочная серия: в 4 кн.; Кн. 3. — Библиогр.: с. 639. — Предметный указатель: с. 640-644.. — ISBN 978-5-383-00018-2.
26. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.Н. Ремезов; под ред. С.В. Цанева. — 3-е изд., стереот. — М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – 584 с.: ил.
27. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб. пособие для вузов. – М.: Логос, 2000. – 408 с.
28. Цанев, Стефан Васильевич. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учебное пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; под ред. С. В. Цанева. — 3-е изд., стер.— Москва: Издательский дом МЭИ, 2009. — 579 с.: ил. — Список литературы: с. 571-572. — Предметный указатель: с. 573-575. — ISBN 978-5-383-00340-4.
29. Гиршфельд, Вениамин Яковлевич. Тепловые электрические станции: учебник / В. Я. Гиршфельд, Г. Н. Морозов. — Москва: Энергоатомиздат, 1986. — 224 с.: ил.
30. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 460 с.
31. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам. 2-ое издание. – М.: ЭАИ, 1985. – 328 с.
32. Ривкин С.Л. Термодинамические свойства газов. – М.: Энергоатомиздат, 2005. – 287 с.
33. Александров А.А., Григорьев. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 162 с.
34. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учебное пособие для ВУЗов.- М.: Энергоиздат, 1981.- 368 с.
35. Плетников С.Д., Силюянов Б.Д. Автоматизация технологических процессов тепловых электростанций//Под ред. А.С. Клюева.- М.: Фирма «Испо-Сервис», 2001.- 156 с. ил.

Форма Государственного экзамена по направлению подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» и оценивание результатов экзамена

Экзамен проводится в форме письменных ответов на тестовые задания открытого и закрытого видов по модулям «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Гидрогазодинамика», «Тепловые и атомные электрические станции», «Автоматизация тепловых процессов».

Студенты отмечают ответы на стандартных бланках ответов (Приложение 3).

Максимальная оценка на экзамене 100 баллов.

Выполнение тестовых заданий оценивается:

1. По модулям «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Гидрогазодинамика» задания трех уровней:

- за каждый правильный ответ на вопрос уровня А – 1 балл,
- за каждый правильный ответ на вопрос уровня В – 2 балла,
- за каждый правильный ответ на вопрос уровня С – 3 балла.

2. Суммарная максимальная оценка за модуль:

- «Техническая термодинамика – 22 балла;
- «Тепломассообмен» – 22 балла;
- «Гидрогазодинамика» – 22 балла.
- «Тепловые и атомные электрические станции» 24 балла.
- «Автоматизация тепловых процессов» – 10 баллов.

Качество результатов экзамена в традиционной оценке соответствует:

100 – 80 баллов – отлично

79 – 60 баллов – хорошо

59 – 30 баллов – удовлетворительно.