

ПРОГРАММА
вступительного экзамена по научной специальности
2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника»

1. Фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики

Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопроеессы. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопроеессов. Второй закон термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы и их применение в термодинамических расчетах. Водяной пар. P-V, T-S, H-S диаграммы и таблицы. Их применение в термодинамических расчетах. Влажный воздух. H-D диаграммы. Циклы Карно, Ренкина. Циклы двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. Термодинамика потока. Скорость звука. Сопло Лавая. Истечение водяного пара. Дросселирование.

Конвективный тепло- и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Законы Ньютона, Фурье и Фика. Основы теории пограничного слоя.

Автомодельные решения уравнений ламинарного слоя. Особенности расчета тепло- и массообмена при турбулентном течении жидкости. Влияние на тепло- и массообмен вдува и отсоса вещества. Решения для ламинарного слоя и турбулентный слой. Трение и теплообмен при массообмене на поверхности тел. Внутренние задачи тепло- и массопереноса. Трение и теплообмен при ламинарном и турбулентном течениях в трубах.

Тепло- и массообмен при фазовых превращениях. Соотношение Герца-Кнудсена для потока массы при фазовом переходе первого рода. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Критический радиус пузырька. Кривая кипения для неограниченного объема. Кипение внутри труб. Особенности двухфазного потока и теплообмена. Влияние давления на процесс кипения. Конденсация пленочная и капельная. Конденсация паров из смеси с инертными газами. Тепло- и массообмен при испарении жидкости в парогазовую среду. Тепло- и массообмен в процессах сублимации: с открытой поверхности, из

пористой металлокерамики. Диффузия жидкости в газовые среды и перенос массы в капиллярно-пористых телах. Дифференциальные уравнения диффузии. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции.

Контактный теплообмен. Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана-Больцмана. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах. Собственное интегральное излучение твердых тел. Спектр излучение твердых тел. Поглощательная и излучательная способности тела. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.

Процессы смесеобразования. Молекулярная и турбулентная диффузия. Смесеобразование в турбулентных слоях. Аналогия между диффузией и теплообменом.

Процессы воспламенения и распространения пламени. Самовоспламенение и зажигание горючих смесей. Тепловая и цепная теория самовоспламенения. Концентрационные границы самовоспламенения и зажигания. Самовоспламенение твердого топлива. Нормальное горение. Турбулентное распространение пламени в газовых смесях.

Механизм и кинетика горения индивидуальных газов. Механизм термического разложения углеводородов. Диффузионный, кинетический и смешанный принципы сжигания. Устойчивость горения газового факела. Методы интенсификации сжигания газов. Основные реакции горения и газификации углерода. Термическое разложение натуральных топлив. Роль летучих и золы в процессах горения. Особенность горения угольной пыли. Горение и газификация угля в неподвижном слое. Пути интенсификации горения твердого топлива. Воспламенение и механизм горения жидкого топлива. Горение распыленного топлива в факеле. Интенсификация процессов горения.

2. Гидрогазодинамика

Гидрогазодинамика как раздел механики сплошных сред. Гидрогазодинамика в теплоэнергетике. Основные физические свойства жидкостей и газов. Модели жидкой среды; идеальная (невязкая) жидкость. Типы и режимы течений жидкости. Основная формула гидростатики; давление на стенки. Одномерная модель течения жидкости и газа. Интегральная форма законов сохранения. Расход жидкости. Уравнение неразрывности. Общая интегральная форма уравнений количества движения и момента количества

движения. Уравнения Эйлера. Общее уравнение энергии в интегральной и дифференциальной форме. Закон сохранения полной энтальпии. Механическая форма уравнения энергии (уравнение Бернулли). Характерные параметры и скорости течения газа. Дифференциальное уравнение движения газа в канале переменного сечения. Плоское (двумерное) движение идеальной жидкости. Распространение слабых возмущений в потоке газа. Сверхзвуковые течения. Элементарные волны разрежения и сжатия. Отражение волн от твердой стенки и свободной границы. Образование ударной волны в газе. Скачки уплотнения. Основные уравнения газовой динамики для параметров потока на скачке уплотнения. Сложное движение жидкой частицы. Поле скоростей жидкой среды в окрестности точки. Теорема Коши–Гельмгольца. Деформационное движение элементарного жидкого объема. Тензор скоростей деформаций. Относительная скорость объемной деформации. Объемные (массовые) и поверхностные силы, действующие в жидкостях. Свойства напряжений поверхностных сил. Нормальные и касательные напряжения. Тензор напряжений. Уравнения движения жидкости в напряжениях. Закон вязкого трения Ньютона. Связь тензоров напряжений и скоростей деформаций. Система уравнений движения вязкой жидкости; уравнения Навье–Стокса. Граничные и начальные условия (условия однозначности). Возникновение турбулентных течений. Основные особенности и статистические

характеристики турбулентности. Осреднение параметров. Уравнения Рейнольдса. Тензор турбулентных напряжений. Гипотезы о турбулентных напряжениях. Движения вязкой жидкости при больших числах Рейнольдса. Понятие о пограничном слое: основные особенности, параметры и определения. Дифференциальные уравнения пограничного слоя; граничные условия. Отрыв пограничного слоя. Особенности течений вязкой жидкости через местные сопротивления. Гидравлические потери на местных сопротивлениях. Расчет движения жидкости при внезапном расширении и внезапном сужении трубы, а также на ее поворотах. Истечение жидкости и газа через отверстия и насадки. Уравнения одномерного неустановившегося движения жидкости. Гидравлический удар. Особенности двухкомпонентных и двухфазных течений.

3. Источники и системы теплоснабжения предприятий

Методы определения потребности промышленных потребителей в паре и горячей воде. Тепловые сети. Методы определения расчетного расхода воды и пара. Тепловой и прочностной расчеты элементов тепловых сетей. Промышленные котельные. Тепловые схемы и их расчет. Методы распределения нагрузки котлами. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных. Теплоэлектроцентрали промышленных предприятий. Методика определения энергетических показателей теплоэлектроцентралей. Утилизационные котельные, теплонасосные установки и ТЭЦ, использующие вторичные энергетические ресурсы предприятий для генерации тепла и электроэнергии. Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями. Использование математического моделирования, пакетов прикладных программ, банков данных для расчета систем теплоснабжения.

4. Котельные установки и парогенераторы

Источники теплоты промышленных котельных установок. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах. Расчет топочных устройств для сжигания газового, жидкого и твердого топлив, производственных отходов. Основы методики расчета простых и сложных контуров циркуляции. Пароперегреватели котлов. Методы регулирования температуры пара. Экономайзеры и их включение в питательные магистрали. Конструктивные схемы воздушных подогревателей. Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией. Водогрейные и паро-водогрейные котлы. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями. Котлы, использующие теплоту технологического продукта. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей. Определение основных характеристик работы котельного агрегата по результатам испытаний.

5. Тепломассообменное оборудование предприятий

Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смешительные теплообменники. Тепловой, гидравлический, прочностной расчеты рекуперативных теплообменников. Деаэраторы. Основы расчета. Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки. Тепловые схемы и установки. Физико-химические и термодинамические основы процессов выпаривания и кристаллизации. Основы теплового расчета. Перегонные и ректификационные установки. Физико-химические и термодинамические основы процессов перегонки и ректификации. Принцип действия и основы расчета абсорбционных и адсорбционных аппаратов. Сушильные установки. Понятие и процессы

сушки. Формы связи влаги с материалом. Основы кинетики и динамики сушки. Тепловой баланс конвективной сушильной установки. Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты вентиляционных выбросов, отработанного сушильного агента, низко потенциальных вторичных энергоресурсов. Основы расчета и подбора стандартного оборудования.

6. Тепловые двигатели и нагнетатели

Место нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров. Схемы поршневых компрессоров. Принцип работы поршневого детандера. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Теоретическая характеристика нагнетателя. Общая классификация потерь в нагнетателях. Способы изменения характеристики вентилятора. Особенности работы насосов в сети. Центробежные и осевые компрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора. Типы паровых турбин. Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Анализ потерь в характерных сечениях турбины. Работа турбинной ступени в переменном режиме. Принципиальные схемы паротурбинных установок. Схемы газотурбинных установок. Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных установок. Особенности работы турбодетандеров. Область применения двигателей Стирлинга.

7. Технологические энергоносители предприятий

Системы производства и распределения энергоносителей на промышленных предприятиях. Характеристика энергоносителей. Методика определения потребности в энергоносителях. Система воздухообеспечения.

Определение расчетной нагрузки для проектирования компрессорной станции (КС). Методика определения потребности в воде на технологические и противопожарные нужды предприятия. Прямоточные, оборотные и бессточные системы технического водоснабжения. Расчет системы газоснабжения. Газовый баланс предприятия. Определение расчетной потребности в газе. Природные искусственные и отходящие горючие газы. Проблемы очистки, аккумулирование, использование избыточного давления. Проблемы защиты окружающей среды. Системы холодоснабжения. Методика определения потребности в холоде. Системы обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха. Схемы потребителей технического и технологического кислорода, азота, аргона и других продуктов разделения. Методы расчета технологических схем станций разделения.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Основы современной энергетики [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки «Теплоэнергетика», «Электроэнергетика», «Энергомашиностроение» ; в 2 т. / под общ. ред. Е. В. Аметистова. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Издательский дом МЭИ, 2016. Т. 1: Современная теплоэнергетика / под ред. А. Д. Трухня. - 2016.
2. Резников, Арон Наумович. Тепловые процессы в технологических системах [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. Н. Резников, Л. А. Резников. - 2-е изд., испр. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2016.
3. Сазанов, Борис Викторович. Промышленные теплоэнергетические установки и системы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Б. В. Сазанов, В. И. Ситас. - Электрон. текстовые дан. - М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
4. Семенов, Б. А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]:

учебное пособие / Семенов Б. А. - 2-е изд., доп. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Лань, 2013.

5. Бакластов А.М. и др., Промышленные теплообменные процессы и установки, М., Энергоатомиздат, 1986.- 328 с.

6. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник. Под ред. В.А.Григорьева и В.М. Зорина. М., Энергоатомиздат, 1991 – 588 с.

7. Машиностроение. Энциклопедия. Том 1-2. Под ред. К.С. Колесникова, А.И. Леонтьева, М., Машиностроение, 1999 – 600 с.

8. Теория тепломасообмена. Под ред. А.И. Леонтьева. М.: МГТУ, 1997, 683 с.

9. Кириллин В.А. Техническая термодинамика: учебник для вузов /

10. В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : МЭИ, 2008. - 496 с.

11. Кириченко Н.А. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика: учебное пособие для вузов / Н.А. Кириченко. - М. : Физматкнига 2005. - 176 с.

12. Лаптев А.Г. Гидромеханические процессы в нефтехимии и энергетике. Гл.5. Основы гидромеханики двухфазных сред/А.Г. Лаптев, М.И. Фаррахов. - Казань: изд-во Казанского университета, 2008.- 729 с.

13. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: Учебник для ВУЗов. Издво 6-ое, переработанное и доп. – М.: «Наука». Глав. ред. физ.-мат. лит-ры., 2003. – 840 с.

Дополнительная литература

1. Касилов В.Ф. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков. М., МЭИ, 2000, 272 с.

2. Теоретические основы теплотехники. Справочник. Под ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина, М., МЭИ, 2001, 564 с.

3. Ключников А.Д., Теплотехническая оптимизация топливных печей, М., Энергия, 1974, 343 с., 150 илл.

4. Соколов Е.Я., Теплофикация и тепловые сети, М., Энергия. 1975, 376 с.

5. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов. - М. Энергоиздат, 1981.

6. Лыков А.В. Тепломассообмен. Справочник. - М.: Энергия, 1972.

Юдаев Б.Н. Теплопередача: Учебник для вузов. - М. Высшая школа, 1981.