

# **Программа вступительных испытаний в магистратуру по направлению подготовки «Энергетическое машиностроение»**

## **Термодинамика и тепломассообмен.**

Первый закон термодинамики; виды энергии; теплота и работа, внутренняя энергия, энтальпия; термодинамические свойства и процессы идеального газа, молекулярно-кинетическая теория теплоемкости газов, основные процессы идеальных газов, смеси газов; второй закон термодинамики; термодинамические циклы и их КПД; цикл Карно; обратимые и необратимые процессы; энтропия; энергия тепла и потока вещества; общие свойства реальных газов и жидкостей; критические параметры; сжимаемость; фазовые переходы; правило Гиббса, уравнения Клапейрона-Клаузиуса и Ван-дер-Ваальса; характеристические функции и основные дифференциальные уравнения термодинамики; термодинамические свойства рабочих тел энергетических установок и аппаратов; циклы энергетических установок и аппаратов; внутренний КПД цикла; термодинамика потока; газовые и комбинированные циклы; истечение из сопел; способы распространения теплоты; теплопроводность; механизм процесса, температурное поле, тепловой поток и его плотность; закон Фурье; коэффициент теплопроводности; дифференциальное уравнение теплопроводности; закон Ньютона-Рихмана; передача теплоты через стенку; способы интенсификации теплопередачи; математическое описание и методы решения задач конвективного теплообмена в однофазной среде; основы теории подобия и моделирования; отдельные задачи конвективного теплообмена в однофазной среде; теплообмен при фазовых превращениях; основы теплообмена излучением; расчет теплопередачи в аппаратах энергетических установок.

## **Механика жидкости и газа.**

Модели жидкой среды; ньютоновские и реологические жидкости; режимы течения; понятия о пограничном слое; математический аппарат описания движения сплошной и разреженной сред; силы, действующие в жидкости; нормальные и касательные напряжения; тензор напряжений; уравнение движения в напряжениях; гидростатика; уравнения Эйлера; основная формула гидростатики; давление на стенки; общие законы и уравнения динамики жидкости; обобщенная гипотеза Ньютона; уравнение Навье-Стокса, граничные и начальные условия; уравнение Бернулли; интегральная форма законов сохранения; модель идеальной жидкости; подобие гидродинамических процессов и анализ размерностей; одномерная модель потока; потеря напора; течение в трубах; истечение жидкости и газа через отверстия и насадки; газодинамические функции расхода; тепловое, расходное и механические воз-

действия; расчет трубопроводных систем и сопел; уравнение одномерного неустановившегося движения; гидравлический удар; сверхзвуковое движение газов; основы теории течений газовых струй.

### **Механика материалов и конструкций.**

Понятие о прочности, жесткости и устойчивости элементов конструкции; гипотезы механики деформируемого твердого тела; внутренние силовые факторы; методы сечений; расчет стержней на растяжение (сжатие); статически неопределимые системы; метод сил; предельное состояние и предельные напряжения, коэффициент запаса; геометрические характеристики плоских сечений; виды изгибов, нормальные напряжения, расчет на прочность; кручение; условия прочности и жесткости; основы теории напряженно-деформированного состояния; сложные виды деформаций; расчет резервуаров, корпусных конструкций трубопроводов и дисков; расчеты на усталость; динамические расчеты элементов конструкций; устойчивость элементов конструкций; основные уравнения линейной теории упругости; вариационные принципы механики деформируемого твердого тела; метод конечных элементов; основные уравнения теории пластичности; основы механики разрушения; ползучесть; малоцикловая усталость

### **«Вакуумная и компрессорная техника физических установок»**

#### **Теоретические основы холодильной техники**

Классификация холодильных машин, история развития и области применения искусственного холода.

Классификация рабочих веществ холодильных машин. Требования, предъявляемые к рабочим веществам.

Взаимодействие рабочих веществ с водой и маслом.

Принцип выбора рабочих веществ в области применения их в холодильной технике.

Паровая холодильная машина с детандером в области влажного пара.

Паровая холодильная машина с дроссельным вентилем и всасыванием сухого насыщенного пара.

Паровая холодильная машина с дроссельным вентилем и всасыванием перегретого пара.

Сокращение необратимых потерь, связанных с теплообменом рабочего вещества и источников.

Сокращение необратимых потерь, связанных с дросселированием. Схемы и циклы одноступенчатых холодильных машин с теплообменниками.

Причины перехода к многоступенчатому сжатию. Выбор промежуточного давления.

Двухступенчатая холодильная машина со змеевиковым промсосудом и неполным промежуточным охлаждением.

Двухступенчатая холодильная машина с полным промежуточным охлаждением.

Схема и цикл простейшей каскадной холодильной машины.

Нерегенеративная ГХМ. Схема, цикл, тепловой расчет.

Регенеративная ГХМ. Схема, цикл, тепловой расчет.

Схема и принцип действия простейшей водоаммиачной абсорбционной холодильной машины.

Бромисто-литиевая абсорбционная холодильная машина. Схема и принцип действия.

Принцип действия и теоретический цикл парожеткторной холодильной машины.

## **Объемные компрессоры**

Классификация по принципу действия объемных компрессоров: по способу изменения объема камеры - поршневые, ротационные; по процессу сжатия - с внутренним сжатием, с внешним сжатием; по сжимаемому газу, по наличию смазки минеральными маслами, компрессоры без подачи смазки в цилиндры. Приводятся основные схемы машин объемного действия: поршневой одно- и многоступенчатый компрессоры, поршневой детандер с золотниковым газораспределением с клапанным газораспределением.

Основные зависимости изменения параметров газа в термодинамике постоянной массы идеального газа. Теоретический рабочий процесс в одноступенчатых машинах с поршнем одностороннего и двойного действия. Показатели работы компрессора: производительность, индикаторная работа, мощность привода при теоретическом процессе. Изображение процессов в координатах  $PV$  и  $TS$ .

Уравнения состояния реальных газов. Термодинамические процессы при сжатии реальных газов.

Действительный поршневой компрессор. Его отличие от теоретического. Индикаторная диаграмма действительного поршневого компрессора. Производительность. Коэффициент подачи, его составляющие.

Схематизация индикаторной диаграммы по методу ЛПИ. Выводятся формулы для определения производительности одноступенчатого поршневого компрессора, индикаторной работы и затраты работы на преодоления трений в механизме в механизме компрессора.

Схематизация рабочего процесса по методу, предложенному профессором М.И. Френкелем. Выводятся формулы для определения производительности одноступенчатого поршневого компрессора, индикаторной работы.

Эффективная мощность и КПД, действительного поршневого компрессора. Механический КПД, его связь с мощностью трения.

Винтовые компрессоры. Принцип действия, регулирование. Достоинства и недостатки винтовых компрессоров.

Процесс сжатия в винтовом компрессоре. Геометрическая степень сжатия. Внутренне отношение давлений, его связь с геометрической степенью сжатия.

Теоретическая объемная производительность винтового компрессора.

Теоретическая индикаторная диаграмма винтового компрессора. Три режима работы винтового компрессора с постоянной геометрической степенью сжатия.

Коэффициент производительности винтового маслозаполненного компрессора. Факторы, влияющие на коэффициент производительности.

Ротационные компрессоры с вращающимся ротором. Принцип действия. Определение теоретического объема.

Ротационные компрессоры с катящимся ротором. Принцип действия. Определение теоретического объема.

Спиральные компрессоры. Принцип действия. Достоинства спиральных компрессоров, область их применения в холодильной технике.

### **Турбокомпрессоры.**

Центробежный компрессор, схема и принцип действия. Процесс в двухступенчатом центробежном компрессоре в  $s-T$  и  $i-p$  диаграммах.

Рабочее колесо с бесконечно большим и с конечным числом лопаток. Отставание потока от лопаток при выходе из колеса.

Коэффициент реактивности ступени центробежного компрессора. Определение с его помощью параметров потока при выходе из колеса компрессора.

Диффузоры центробежных компрессоров. Безлопаточный и лопаточный диффузоры.

Способы регулирования холодильных центробежных компрессоров.

Типы расширительных машин для холодильной техники и низкпотенциальной энергетики. Осевые и радиально-центростремительные расширительные машины. Изображение процессов в  $s-T$  диаграмме.

Коэффициент реактивности ступени расширительной турбомшины по изоэнтропным теплоперепадам. Определение с его помощью перепада энтальпий в сопловом аппарате.

Кинематика потока в ступенях расширительных машин с  $\Omega_{1,2}^{(к)} = 0; 0.5$  и  $1.0$  Повышение эффективности ступеней расширительных турбомашин за счет уменьшения потерь с выходной скоростью.

### Литература:

1. Ю.В. Кожухов, И.А. Тучина. Расчет двухзвенной ступени центробежного компрессора: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 59 с.
2. Н.И. Садовский, Ю.В. Кожухов. Теория, расчет и конструирование компрессоров динамического действия. Испытание компрессоров при параллельной и последовательной работе. Совместная работа компрессоров: учеб. пособие.– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 40 с.
3. Ю.Б. Галеркин, Ю.В. Кожухов. Теория турбомашин. Основы теории турбокомпрессоров: учеб. пособие.– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 245 с.
4. Б. С. Хрусталева и др. Машины низкотемпературной техники. Основы проектирования ротационных компрессоров: СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 134 с.

5. П. И. Пластинин. Поршневые компрессоры : учебное пособие для вузов по специальности "Вакуумная и компрессорная техника физических установок" направления подготовки дипломированных специалистов "Гидравлическая, вакуумная и компрессорная техника" / П. И. Пластинин .— 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Колос, 2008.- 711с.
6. Холодильные машины: под общ. ред. Л. С. Тимофеевского.- СПб.: Политехника, 2006.- 944с.
7. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин, тепловых насосов и термотрансформаторов: под общ. ред. Л. С. Тимофеевского.- СПб.: ГХПТ, 2006.- 206

### **«Поршневые и комбинированные двигатели»**

Схема поршневого ДВС. Двухтактные и четырехтактные двигатели. Индикаторные диаграммы. Фазы газораспределения двигателей с искровым зажиганием и воспламенением от сжатия. Основные параметры ДВС. Мощность и экономичность ДВС. Определение идеального цикла. Циклы со смешанным подводом тепла, циклы с подводом тепла при постоянном объеме и постоянном давлении. Характеристика рабочих тел. Полное и совершенное сгорание. Характеристики топлива. Фазы газораспределения и индикаторные диаграммы двухтактных и четырехтактных двигателей. Особенности газообмена в двухтактных двигателях. Термодинамика процесса сгорания в двигателях с искровым зажиганием и с воспламенением от сжатия. Характеристики сгорания. Режимы работы двигателей. Классификация характеристик двигателя. Регулировочные характеристики двигателей с искровым зажиганием и с воспламенением от сжатия по составу смеси и углу опережения зажигания (подачи топлива). Системы газообмена. Контурные и прямоточные системы. Схемы движения воздушного заряда в цилиндре двигателя. Характеристика процесса газообмена. Показатель качества газообмена. Взаимосвязь основных показателей качества газообмена. Проблемы воздухообмена поршневых двигателей. Характеристики впускной системы и качество смесеобразования. Смесеобразование в двигателях с искровым зажиганием. Карбюрация. Скорость испарения топлива, влияние режима работы двигателя. Распыливание топлива в дизелях. Формирование факела, его дальнобойность. Характеристики распыливания топлива. Объемное, пленочное и объемно-пленочное смесеобразование. Вихрекамерное и предкамерное смесеобразование. Сравнительная характеристика различных способов смесеобразования. Самовоспламенение топливовоздушных смесей. Задержка воспламенения. Распространение пламени. Ламинарные пламена. Влияние различных факторов на нормальную скорость распространения пламени. Горение гетерогенных смесей. Диффузионное горение. Горение капель распыленного жидкого топлива. Нормальное сгорание в двигателях с искровым зажиганием. Фазы горения. Характеристики активного

тепловыделения. Детонационное сгорание. Влияние различных факторов на развитие детонационного сгорания. Калильное зажигание. Сгорание в дизелях. Фазы сгорания в дизелях. Особенности дизельного процесса. Определение длительности задержки воспламенения. Компонировка поперечного и продольного разрезов двигателя. Силовые схемы корпусов.

Картер. Разновидности конструкции картера. Требования к конструкции. Рекомендации по повышению жесткости. Цилиндр, блок цилиндров, требования, предъявляемые к ним. Цилиндр воздушного охлаждения. Конструкция блока цилиндров. Головка цилиндров. Условия работы. Требования к конструкции. Индивидуальные и блочные головки, преимущества и недостатки. Коленчатый вал. Условия работы. Требования к конструкции. Конструктивные типы. Поршневая группа. Назначение, условия работы, требования к конструкции. Поршень. Поршни крейцкопфных и тронковых ДВС. Поршни двухтактных и четырехтактных ДВС. Шатунная группа. Назначение. Требования к конструкции. Основные типы шатунных механизмов. Механизм газораспределения. Назначение. Типы МГ (клапанный, золотниковый, клапанно-золотниковый). Типы КШМ. Кинематика центрального КШМ. Диаграммы Брикса, Толле. Приведение поступательно-движущихся и вращающихся масс, динамически эквивалентная модель шатуна и всего КШМ (простых и сложных шатунных механизмов). Силы и моменты, действующие в КШМ одноцилиндрового двигателя. Суммарные силы и крутящие моменты, действующие на коленчатый вал многоцилиндрового двигателя. Табличный метод расчета суммарных сил и моментов. Основные условия внешней динамической уравновешенности. Динамически эквивалентная модель однорядного одноцилиндрового двигателя. Нефть и природный газ как исходные продукты для производства топлив и масел. Физические свойства нефти и ее полезный химический состав, классификация и характеристики примесей. Классификация топлив. Горючие смеси. Стехиометрический состав. Пределы воспламеняемости горючих смесей. Теплота сгорания топлив и горючих смесей. Основные эксплуатационные требования к автомобильным бензинам. Антидетонационные свойства топлива. Октановые числа, методы их определения. Способы улучшения антидетонационных свойств. Эксплуатационные требования к характеристикам дизельных топлив. Показатели и свойства топлив, влияющие на подачу и смесеобразование.

Виды трения и износа в машинах и механизмах, понятие о трибосистеме. Требования к смазочным материалам для ДВС и их классификация. Типы компрессоров, используемых для наддува двигателей. Сравнительная характеристика поршневых, ротационных, винтовых и центробежных компрессоров. Профилирование лопаток. Характеристики компрессора. Влияние эксплуатационных факторов на параметры работы компрессора. Газодинамический расчет компрессора. Принципиальные схемы ступеней турбины. Осевые и радиальные турбины. Преобразование энергии в ступени турбины. Газодинамический расчет турбины. Принципиальные конструктивные схемы турбокомпрессоров. Роторы ТК.

Схемы взаимного расположения рабочих колес и подшипников. Преимущества и недостатки обеих конструктивных схем. Режимы работы двигателей различного назначения и гидравлические характеристики двигателей. Согласование характеристик компрессоров и гидравлической характеристики двигателя. Совмещение характеристик компрессора и турбины. Универсальная характеристика ТК. Совмещение гидравлических характеристик двигателя и характеристик ТК. Анализ совмещенных характеристик.

#### Литература:

1. Двигатели внутреннего сгорания в 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / В.Н. Луканин, К.А. Морозов, А.С. Хачиян и др.; Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова — М.: Высшая школа, 2007
2. Теория поршневых двигателей. Специальные главы / Р.З. Кавтарадзе — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008
3. Конструкция и расчет двигателей внутреннего сгорания / Румянцев В.В. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004
4. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн.:(Кн.) 2: Динамика и конструирование / Под ред. В.Н. Луканина, М.Г.Шатрова. Изд. 3-е, перераб. и испр. — М.: Высшая школа, 2007
5. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов: учебник для вузов / Под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова — М.: Высшая школа, 2007
6. Локальный теплообмен в поршневых двигателях / Кавтарадзе Р.З. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001
7. Химмотология. Эксплуатационные материалы для двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / Ю. В. Галышев, А. Ю. Шабанов, А. Б. Зайцев. — СПб. Изд-во Политехн. ун-та, 2009
8. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент / Сафонов А.С. — НИИКЦ. СПб., 2002

#### **«Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты»**

Различные виды лопастных гидромашин, их назначение. Основные параметры лопастных гидромашин. Классификация лопастных гидромашин по принципу действия. Основные конструктивные схемы гидротурбин и насосов. Элементы проточной части лопастной гидромашин, их назначение. Мощность потока. Изменение энергии жидкости в проточной части гидротурбины, насоса и гидродинамических передачах. Понятие о рабочем и теоретическом напоре, а также о гидравлическом к.п.д. гидротурбины и насоса. Виды потерь энергии в лопастных гидромашин, их общий к.п.д. Основные условия подобия в гидромашин. Связь между основными параметрами подобных гидромашин. Приведенные величины, коэффициент быстроходности. Классификация лопастных гидромашин по быстроходности и области их

применения. Критерии динамического подобия в лопастных гидромашинах. Масштабный эффект в гидромашинах. Физическая сущность кавитации и ее последствия. Высота всасывания (отсасывания) насоса и гидротурбины. Кавитационный коэффициент установки. Кавитационный коэффициент гидротурбины и кавитационный коэффициент быстроходности насоса, связь между ними. Определение допустимой высоты всасывания (отсасывания) насоса и гидротурбины. Меры защиты от кавитации. Рабочие и универсальные характеристики гидротурбин и насосов. Способы регулирования расхода и мощности гидротурбины. Работа насоса в сети. Регулирование подачи насоса. Запуск насосов, возможность их неустойчивой работы. Характер течения жидкости в проточной части гидромашин. Абсолютное и относительное движение жидкости в рабочем колесе. Треугольник скоростей. Изменение во времени абсолютных и относительных скоростей в рабочем колесе гидромашин. Причины и последствия неустановившегося абсолютного и относительного движения жидкости в рабочем колесе. Удельная энергия жидкости для абсолютного и относительного движения жидкости, связь между ними. Основное уравнение Эйлера лопастной гидромашин для струйки тока. Основное уравнение Эйлера для «целого» потока, выводы из него. Оптимальные условия входа и выхода потока на рабочем колесе гидромашин. Связь между циркуляцией абсолютных и относительных скоростей по произвольному контуру. Классификация гидротурбин в зависимости от способа преобразования энергии жидкости и направления движения потока в области рабочего колеса. Область применения различных типов гидротурбин. Элементы проточной части активной и реактивной гидротурбины, их назначение. Силовое взаимодействие потока с преградой. Оптимальные условия работы активной гидротурбины и ее оптимальные параметры. Конструктивные схемы активных гидротурбин.

Виды модельных испытаний, их назначение. Энергетические испытания моделей гидротурбин. Построение универсальной характеристики по данным модельных испытаний. Комбинаторный режим работы поворотнлопастной гидротурбины. Испытания гидротурбины на разгон. Разгонные характеристики и определение разгонных оборотов. Кавитационные испытания моделей гидротурбин, метод "срывных" характеристик. Характер потока в проточной части реактивной гидротурбины. Основные свойства потока перед рабочим колесом. Зависимость закрутки потока на входе в рабочее колесо от открытия направляющего аппарата. Определение оптимального открытия направляющего аппарата. Зависимость параметров потока перед рабочим колесом от режима работы. Безударный вход потока в рабочее колесо и нормальный выход. Ударные и циркуляционные потери в реактивной гидротурбине. Поток за рабочим колесом радиально-осевой (РО) и поворотнлопастной (ПЛ) гидротурбинах на различных режимах. Определение линии постоянного открытия направляющего аппарата и постоянного угла установки лопастей рабочего колеса (для ПЛ гидротурбин). Определение расхода, проходящего через гидротурбину и способы его регулирования. Назначение и конструкции спиральной камеры. Гидромеханический расчет спиральной



камеры. Статор гидротурбины, его конструкции и гидравлический расчет колонны статора. Направляющий аппарат, конструкции, назначение и основы расчета лопаток направляющего аппарата. Отсасывающие трубы реактивных гидротурбин, их назначение и конструкции. Работа отсасывающей трубы. Коэффициент восстановления и потери энергии в отсасывающей трубе на различных режимах. Влияние формы отсасывающей трубы на эффективность работы гидротурбин различной быстроходности.

### **«Системы гидравлических и пневматических приводов»**

Принцип действия объемных гидравлических машин.. Классификация объемных гидромашин. Области применения объемных гидромашин. Рабочие жидкости ОГМ. Их основные физические свойства: плотность, сжимаемость, вязкость, способность к растворению воздуха, старение и смазывающие способности. Источники загрязнения. Фильтрация. Определения, признаки и свойства. Примеры конструкций. Рабочий объем, номинальное и рабочее давления, геометрический и фактический расход, крутящий момент, мощность. КПД и его составляющие. Конструктивные схемы отдельных видов ОГМ. Схемы поршневых и плунжерных насосов с шатунно-кривошипным приводом. Средняя подача. Клапаны поршневых насосов. Рабочий процесс самодействующего клапана. Кинематика вытеснителя, неравномерность подачи. Силы, действующие на механизмы насоса. Давление в рабочей камере в циклах нагнетания и всасывания. Кавитация. Индикаторная диаграмма. Гидравлические, механические и объемные потери (утечки). Баланс потерь энергии в объемных гидромашин. КПД поршневого насоса. Расчет параметров и основных геометрических размеров поршневых (плунжерных) кривошипных насосов. Основные кинематические схемы радиально-поршневых насосов. Способы распределения рабочей жидкости. Рабочий объем и средняя подача насоса. Кинематика насоса однократного действия с внешней направляющей. Скорость и ускорение поршня, мгновенная единичная и суммарная подача. Неравномерность подачи. Основные силы, действующие на поршень, ротор и статор. Способы уравнивания гидравлических сил. Регулирование подачи радиально-поршневых насосов. Регулировочные характеристики. Высокомоментные радиально-поршневые гидромоторы. Кинематические схемы и принцип действия высокомоментных гидромоторов радиально-поршневого типа. Формирование единичного и суммарного крутящего момента. Способы распределения рабочей жидкости. Регулирование рабочего объема высокомоментного радиально-поршневого гидромотора. Расчет основных размеров радиально-поршневых гидромашин. Кинематические схемы основных видов аксиально-поршневых гидромашин. Способы распределения рабочей жидкости. Аксиально-поршневые гидромашин со свободными поршнями и наклонным упорным диском: кинематика, силовое взаимодействие элементов, регулирование рабочего объема, примеры конструкций. Аксиально-поршневые ОГМ с наклонным блоком: кинема-

тика, силовое взаимодействие элементов, способы синхронизации движения упорного диска и блока цилиндров, регулирование рабочего объема, примеры конструкций. Основные сведения о кинематике аксиально-поршневых гидромашин с шатунным ведением наклонного блока цилиндров. Регулировочные характеристики аксиально-поршневых гидромашин. Расчет основных размеров аксиально-поршневых гидромашин.

Понятие объёмного гидропривода и принцип его действия. Сравнительные характеристики гидравлических, электрических и пневматических приводов. Классификация ОГП: по назначению, по возможности и способу управления скоростью выходного звена, по характеру выполняемых операций, по исполнению гидравлического контура. Области применения различных видов гидроприводов.

Общие требования к гидроприводу, как устройству передачи и преобразования движения. Расчет параметров гидропривода на основе механических характеристик объекта управления. Статические характеристики нерегулируемого гидропривода. Статические характеристики гидроприводов машинного управления. Статические характеристики гидроприводов дроссельного управления. Дросселирующие гидрораспределители: назначение, конструктивные схемы, расчетные соотношения, статические характеристики. Силы, действующие на элементы золотниковой пары. Гидроусилители: назначение, принцип действия, классификация. Конструктивные особенности и расчетные соотношения основных типов гидроусилителей: золотниковые гидроусилители, гидроусилители типа «сопло-заслонка», струйные гидроусилители. Применение в гидроусилителях механических и гидравлических элементов обратной связи. Электромеханические преобразователи: назначение, принцип действия, классификация, примеры конструкций. Электродвигательные усилители: конструктивные особенности и расчетные соотношения. Классификация уплотнений. Основы теории герметичности. Материалы уплотнений. Уплотнения неподвижных соединений. Уплотнения соединений пар возвратно-поступательного движения. Уплотнения соединений пар вращательного движения. Трение в уплотнениях.

#### Литература:

1. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем. — М.: Машиностроение. 1974. — 606 с.
2. Гряно Л.П. Исаев Ю.М. Гидродинамические и гидрообъемные передачи в трансмиссиях транспортных средств. — СПб. : 2000. — 265 с.
3. Данилов Ю.А., Кирилловский Ю.Л., Колпаков Ю.Г. Аппаратура объемных гидроприводов. — М. : Машиностроение, 1990, —272 с.
4. Исаев Ю.М. Расчет и конструирование аксиально-поршневых насосов. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1979. — 98 с.
5. Никитин О.Ф. Рабочие жидкости гидроприводов. — М. : Изд-во МГУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 152 с.
6. Орлов Ю.М. Объемные гидромашин и гидropередачи. — М.: Машиностроение, 2006. — 329 с.

- 7.Скляревский А.Н. Гидравлический привод и средства автоматики. Объемный гидропривод. — СПб. : Изд-во Политехи, ун-та, 2012. — 252 с.
- 8.Бусырев А.И. Лопастные гидромашин. Выбор основных параметров и элементов проточной части реактивных гидротурбин. — СПб.: Изд-во Политехн, ун-та, 2007. — 123 с.
- 9.ГОСТ 17398-72, переиздание 1991 г. Насосы. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 37 с.
- 10.Голиков В.А. Лопастные машины и гидродинамические передачи. Расчет и проектирование лопастной системы. СПб. : Изд-во Политехи, ун-та, 2008. — 50 с.
- 11.Бусырев А.И., Голиков В.А., Исаев Ю.М., Плешанов В.Л. Лопастные и объёмные гидравлические машины. Гидропередачи. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. - 280 с.

### **«Паровые и газовые турбины»**

#### **Ступень турбомашин.**

Преобразование энергии в ступенях турбины и компрессора. Расчет турбинной и компрессорной ступеней. Особенности проектирования ступеней большой веерности. Ступени скорости, радиальные, радиально-осевые и диагональные ступени. Двухъярусные ступени. Коэффициент полезного действия (КПД) турбинной и компрессорной ступени. Основные виды потерь в ступени. Влияние основных геометрических и режимных параметров на КПД. Степень реактивности и коэффициент расхода ступени. Влияние влажности и охлаждения на основные характеристики ступени паровой и газовой турбины.

#### **Решетки турбомашин.**

Турбинные и компрессорные решетки, их классификация. Геометрические и аэродинамические характеристики решеток турбомашин. Методы плоского, осесимметричного и пространственного расчета решеток. Профильные и концевые потери в решетках, методы их расчета. Решетки паровых турбин для влажного пара. Процессы неравновесного влагообразования в решетках. Основные особенности движения переохлажденного и влажного пара в решетках паровых турбин. Нестационарные течения в решетках турбомашин. Переменные, аэродинамические силы. Вынужденные и самовозбуждающиеся колебания рабочих лопаток турбины и компрессора. Флаттер и помпаж. Вращающийся отрыв в решетках турбомашин. Пульсации давления в потоках влажного пара, нестационарные скачки конденсации.

#### **Многоступенчатые турбины.**

Тепловой процесс в многоступенчатой турбине. Преимущества и недостатки многоступенчатых турбин. Выбор конструкции и ремонт многоступенчатых турбин. Предельная мощность однопоточной паровой и газовой турбины. Пути повышения предельной мощности турбины.

Выбор частоты вращения, числа валов и цилиндров паровой турбины. Техничко-экономические основы выбора конструкции турбины. Осевые усилия в турбинах, их расчет и методы уравнивания. Концевые уплотнения. Регулирующие лапаны, впускные и выхлопные патрубки турбин. Эрозия рабочих лопаток. Защита элементов проточной части от эрозии. Сепарация влаги из проточной части паровой турбины. Выносные сепараторы-пароперегреватели турбин атомных электростанций (АЭС).

### **Расчет и проектирование многоступенчатых компрессоров.**

Многоступенчатый осевой компрессор. Влияние потерь в патрубках на КПД и напор компрессора. Неустойчивые режимы в работе компрессора. Универсальная характеристика. Моделирование компрессоров. Многоступенчатые центробежные компрессоры. Выбор оптимальных геометрических размеров ступеней центробежного компрессора. Профилирование рабочих колес и лопаточных диффузоров.

### **Переменные режимы работы турбин.**

Газодинамическое подобие. Переменный режим работы ступени. Обобщенные характеристики турбинных ступеней. Распределение давлений по ступеням при изменении режима работы турбины. Влияние изменения режима работы на КПД турбины. Особенности работы последних ступеней конденсационной турбины при изменении объемного пропуска пара. Система парораспределения. Изменение нагрузки паровой турбины методом скользящего давления. Методы расчета турбин при переменном режиме работы. Загрязнение проточной части.

Переменный режим работы газотурбинной установки (ГТУ). Способы изменения режима работы ГТУ. Согласование режимов работы турбомашин. Представление характеристик методами подобия. Зависимость показателей ГТУ от нагрузки и температуры наружного воздуха, ее цикла и схемы. Диаграмма режимов ГТУ. Режим пуска ГТУ, пусковые устройства.

### **Турбины для комбинированной выработки тепла и электрической энергии.**

Турбины с противодавлением, с промежуточным регулируемым отбором пара. Ступенчатый подогрев воды. Диаграммы режимов работы турбины. Использование для теплофикации тепла ГТУ и АЭС.

### **Теплообмен в элементах турбомашин.**

Основные уравнения теплопроводности и конвективного теплообмена. Теплообмен при фазовых превращениях. Теплообмен при проникающем охлаждении и газовых завесах. Распределение температуры в охлаждаемых турбинных лопатках, роторах и корпусах. Методы решения задач теплопроводности и теплообмена применительно к основным деталям турбин. Конструкции охлаждаемых лопаток газовых турбин.

### **Динамика и прочность деталей паровых и газовых турбин.**

Надежность турбин как основное требование их изготовления, монтажа и эксплуатации. Материалы, используемые в турбостроении. Условия работы металлов в паровых и газовых турбинах. Свойства сталей и сплавов,

применяемых в турбостроении, и требования к ним. Процессы, сопровождающие работу металлов при высоких температурах, длительной эксплуатации и переменных нагрузках. Коррозионная усталость и коррозионное растрескивание под напряжением в элементах турбины под влиянием агрессивных примесей в паре. Коррозия лопаток ГТУ, защитные покрытия. Рабочие лопатки, их вибрационная прочность. Обеспечение вибрационной надежности лопаточного аппарата. Диски, их прочность и вибрации. Вибрации роторов и фундамента. Низкочастотные вибрации роторов. Методика численного анализа и расчета напряженного состояния деталей турбин. Гидродинамические силы в ступенях, уплотнениях и подшипниках. Маневренность турбин. Термические напряжения в деталях турбин, термоусталость.

### **Регулирование турбин.**

Принципиальные схемы регулирования паровых и газовых турбин. Статические характеристики регулирования. Параллельная работа турбогенераторов. Математическое описание системы регулирования турбин. Устойчивость системы регулирования турбин. Переходные процессы в системах регулирования турбин. Использование вычислительной техники для анализа переходных процессов в системе регулирования турбины и синтеза системы регулирования. Механизм управления паровой конденсационной турбиной. Особенности регулирования турбин для комбинированной выработки тепла и электрической энергии. Регулирование ГТУ. Регуляторы температуры газов и мощности. Регулирование энергетических блоков тепловых электрических станций и АЭС. Защитные устройства турбинных установок. Использование цифровых и микропроцессорных систем для управления турбинной установкой. Автоматизация пуска турбинной установки. Системы автоматического управления.

### Литература:

1. Щегляев А.В. Паровые турбины. -М.: Энергия, 1993.
2. Паровые и газовые турбины. Под ред. В.В. Фролова и А.Г. Костюка. -М.: Изд-во МЭИ, 2002.
3. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. -М.: Изд-во МЭИ, 2000.
4. Газовая динамика МЖГ. Под ред А.И. Леонтьева, 1997.
5. Самойлович Г.С. Гидроаэромеханика. -М.: Машиностроение, 1980.
6. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. -Л.: Машиностроение, 1982.
7. Самойлович Г.С., Трояновский Б.М. Переменные и переходные режимы в паровых турбинах. -М.: Энергоиздат, 1982.
8. Елисеев Ю.С., Манушин Э.А., Михальцев В.Е., Осипов М.И., Суровцев И.Г. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000.
9. Газотурбинные установки. Конструкции и расчет. Справочное пособие. -Л.: Машиностроение, 1978.
10. Костюк А.Г., Шерстюк А.Н. Газотурбинные установки. -М.: Высшая школа, 1979.

11. Кириллов И.И. Газовые турбины и газотурбинные установки. –М.: Машгиз, 1956.
12. Ольховский Г.Г. Энергетические газотурбинные установки. –М.: Энергоатомиздат, 1985.

### «Технология и экология сжигания органических топлив»

#### **Общие вопросы энергетики.**

Схема паросиловой установки. Термодинамический цикл паросиловой установки в  $T-S$  диаграмме. Экономические показатели ТЭС и АЭС, выбор параметров. Энергетика России и мира. Топливный баланс энергетики и динамика его развития. Анализ технических характеристик органических топлив; влияние их характеристик на выбор основных решений по котельной установке. Классификация и основные характеристики котельных установок. Основные требования к котельным установкам, их параметры. КЭС и ТЭЦ. Основные преимущества и недостатки котлов с принудительной и многократной циркуляцией среды. Методика расчета материального и теплового балансов процесса горения (статика горения). Коэффициент избытка воздуха. Расчет объемов и энтальпий продуктов горения; адиабатическая температура, ее расчет; влияние на нее различных факторов. Методика расчета теплового баланса котла и его элементов. Потери тепла. Расчет КПД по прямому и обратному балансу котельной установки. Основные методы сжигания топлива: слоевой, факельный, кипящий слой. Перспективы их применения. Выбор способа сжигания топлива и системы шлакоудаления. Диффузия и массообмен в процессах горения. Основы химической кинетики. Горение газообразного и жидкого топлива. Стадии горения твердого топлива. Диффузионная и кинетическая области горения. Время выгорания частиц твердого топлива. Классификация котельных установок и ядерных паропроизводящих установок. Гидродинамика контура с естественной циркуляцией. Критерии надежности работы контуров с естественной циркуляцией. Цели и задачи расчета циркуляционного контура, основные уравнения. Гидродинамика парогенерирующего канала при принудительном движении. Кризисы теплоотдачи. Повышение гидродинамической устойчивости системы. Цели и задачи гидравлического расчета, основные уравнения. Виды воздействия паросиловой установки на окружающую среду. Классификация вредных выбросов. Способы предотвращения отрицательного влияния ТЭС и АЭС на окружающую среду. Комбинированные парогазовые установки, основные схемы, их преимущества по сравнению с паротурбинными и газотурбинными установками. Анализ  $Q-t$ -диаграммы. Обоснование схем газо-воздушного и пароводяного трактов котла. Компоновка поверхностей нагрева котла. Деление поверхностей нагрева на радиационные, конвективные и полурadiационные. Альтернативные источники энергии. Перспективы их использования. Классификация биотоплив и их роль в теплоэнергетике. Понятие о "парниковом" эффекте, Киотский протокол. Основы локального теплообмена в камерах сгорания (в критериальной форме). Теплопередача через загрязненную стенку. Расчет

температуры стенки. Обеспечение надежности ее работы. Основы конвективного теплообмена. Теплопередача через загрязнённую стенку. Расчет температуры стенки. Основы организации проектирования котельных установок; составление технического задания; разработка инвестиционно-технического обоснования (бизнес-плана); стадии проектирования (оптимизация решений); изготовление; монтаж; пуско-наладочные работы.

### **Расчет и конструирование паровых котлов.**

Основы расчета котельных установок. Выбор основных параметров и конструктивных решений, методик расчета. Современные конструкции котельных установок (пылеприготовительная система, котел, система очистки газов). Классификация и основные характеристики топочных камер (с твердым и жидким шлакоудалением, одно- и двухкамерные топки, прямоточные, вихревые и циклонные топки). Выбор горелочных устройств и их компоновки. Расчет суммарного теплообмена в топочной камере котла по нормативной методике (уравнение Гурвича, критерий Больцмана, закон Бугера). Основы теплопередачи в конвективных поверхностях нагрева котла; система уравнений теплопередачи через загрязненную стенку. Коэффициент теплопередачи и температурный напор для различных схем. Расчет температуры стенки, обеспечение надежности работы. Способы регулирования температуры перегретого пара по паровой и газовой стороне, их сравнительный анализ. Особенности конструирования и расчета радиационного пароперегревателя. Разделение топочных экранов прямоточных котлов на НРЧ, СРЧ, ВРЧ (системы Бенсона, Зульцера, Рамзина); установка переходной зоны. Обеспечение оптимальной температуры стенки радиационного пароперегревателя. Анализ влияния различных режимных факторов на температуру перегретого пара (схема анализа и пример анализа). Конвективная и радиационная характеристики пароперегревателей. Комбинирование радиационных и конвективных ступеней пароперегревателя. Цели, задачи и основы позонного расчета топочных камер. Основные уравнения. Анализ разверки температуры среды (пара) на выходе из поверхности нагрева и методы снижения разверки. Цели и задачи расчета элементов котла на прочность. Основные уравнения. Марки сталей, легирующие присадки. Цели и задачи аэродинамического расчета котлов; основные уравнения; учет самотяги. Выбор дутьевого вентилятора и дымососа. Схемы с уравновешенной тягой и наддувом, их преимущества и недостатки. Анализ НТВ-технологии сжигания твердых топлив (топка ЛПИ). Особенности расчета и конструирования котлов, построенных по НТВ-технологии. Анализ схем пароводяного и газового трактов современных котлов. Выбор температур, приращений энтальпий, скоростей сред, систем регулирования. Учет изменения приращения энтальпий при частичных нагрузках для обеспечения надежности работы поверхностей нагрева. Понятие о техническом минимуме нагрузки. Влияние нагрузки котла на изменение параметров сред по газовому и пароводяному трактам. Инженерная методика расчета процесса абразивного износа поверхностей нагрева котла. Способы снижения износа (конструктивные и режимные). Оценка расчетного срока службы по-

верхностей нагрева с учетом эрозионного износа. Процессы шлакования, загрязнения и коррозии поверхностей нагрева котла; факторы, способствующие этим процессам. Понятие о "точке росы", определение ее. Основные методы снижения шлакования, загрязнения и коррозии поверхностей нагрева. Выбор экономически обоснованной скорости сред по газовому и пароводяному трактам котла по минимуму затрат (анализ теплообмена, загрязнения, эрозионного износа, сопротивления поверхностей нагрева). Тепловые состояния котла. Порядок (последовательность) и особенности пуска и останова барабанных и прямоточных котлов (для блочной схемы и при работе на общую магистраль). Растопочная схема котла с промежуточным перегревом (одно- и двухбайпасная). Пуск котла на скользящем давлении.

#### Литература:

1. Ковалев А.П. и др. Парогенераторы: Учебник для вузов / А.П. Ковалев, Н.С. Лелеев, Т.В. Виленский; Под общ. ред. А.П. Ковалева. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 376 с.
2. Резников М.И., Липов Ю.М. Паровые котлы тепловых электростанций. Учебник для студентов вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 240 с.
3. Кендысь П.Н. Теплоэнергетические установки электростанций. учебное пособие. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 280 с.
4. Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Котельные установки промышленных предприятий: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 528 с.
5. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.: Машиностроение. Котельные установки. Т. IV-18 / Ю.А. Рундыгин, Е.Э. Гильде, А.В. Судаков, А.А. Тринченко и др.; Под ред. Ю.С. Васильева, Г.П. Поршнева. – 2009. – 400 с.
6. Померанцев В.В. Основы практической теории горения: Учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Д.Б. Ахмедов и др.; Под ред. В.В. Померанцева. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
7. Хзмалян Д.М., Каган А.Я. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д.М. Хзмаляна. Учеб. пособ. для вузов. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
8. Григорьев К.А., Рундыгин Ю.А., Тринченко а.А. Технология сжигания органических топлив. Энергетические топлива: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 92 с.
9. Рихтер Л.А. Тепловые электрические станции и защита атмосферы. – М.: Энергия, 1975. – 312 с.
10. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 144 с.
11. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.
12. В.Р. Котлер, С.Е. Беликов. Промышленно-отопительные котельные: сжигание топлив и защита атмосферы. – СПб.: Энерготех, 2001. – 272 с.
13. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. Пер. с англ. / Под ред. А.Ф. Туболкина. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.



14. Ахмедов Р.Б., Цирульников Л.М. Технология сжигания горючих газов и жидких топлив. – Л.: Недра, 1984. – 238 с.
- Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. – М.: Энергия, 1976. – 448 с.
15. Жабо В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
16. Шагалова С.Л., Шницер И.Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. – Л.: Энергия, 1976. – 176 с.
17. Шницер И.Н. Технология сжигания топлива в пылеугольных котлах. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 248 с.
18. Шатиль А.А. Топочные процессы и устройства (исследования и расчет). – С.-Петербург: НПО ЦКТИ, 1997. – 184 с.
19. Шульман В.Н. Тепловые электрические станции в окружающей среде современного мира. – Екатеринбург: ООО Издательство “Сократ”, 2010. – 376 с.
20. Бабий В.И., Куваев В.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.