

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра строительства,
теплоэнергетики
и транспорта

Б1.В.03 НАГНЕТАТЕЛИ И ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

*Методические указания к самостоятельной работе
по направлению подготовки*

*13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата), профиль подготовки
«Энергообеспечение предприятий»*

Мурманск
2020

Составитель – Куренков В.В., старший преподаватель кафедры строительства теплоэнергетики и транспорта.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой строительства, теплоэнергетики и транспорта 14 октября 2020 г., протокол № 2

В методических указаниях излагаются вопросы, связанные с теоретическими аспектами и конструктивными особенностями насосов, вентиляторов, компрессорных машин, паровых турбин, газотурбинных установок и двигателей внутреннего сгорания. Рассматриваются их основные рабочие параметры, области применения, конструктивные элементы и вопросы, связанные с эксплуатацией нагнетателей и тепловых двигателей.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
2.	ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН.....	6
3.	ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	122
4.	СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ.....	133

ОБЩИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Методические указания к самостоятельным работам составлены на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 № 143 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника (уровень бакалавриата)», учебного плана в составе ОПОП по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», направленности (профилю) «Энергообеспечение предприятий», 2019 года начала подготовки.

Цель дисциплины:

- формирование профессиональных знаний о теоретических основах, принципов действия, методов расчета и конструирования, характерных режимов и технико-экономических показателей работы компрессоров, насосов, вентиляторов, паровых и газовых турбин, двигателей внутреннего сгорания, используемых в энергетическом хозяйстве промышленных предприятий.

Задачи дисциплины:

- Формирование систематизированных знаний о процессах, протекающих в нагнетателях и тепловых двигателях.
- Изучение методик расчета для определения их основные геометрических размеров и эксплуатационных характеристик.
- Выбирать экономичные и надежные режимы работы.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- конструктивное оформление нагнетателей и тепловых двигателей;
- методы их расчета и конструирования;
- характерные режимы и технико-экономические показатели их работы;
- системы защиты и автоматического регулирования;
- схемы и оборудование компрессорных, насосных, вентиляционных, паро- и газотурбинных установок.

Уметь:

- методиками проведения термодинамических и гидравлических расчетов нагнетателей и тепловых двигателей с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации и применением средств и систем автоматизации выполнения;
- методиками проведения экспериментов на нагнетателях и тепловых двигателях различного типа с привлечением соответствующего математического аппарата.

Владеть:

- методиками проведения термодинамических и гидравлических расчетов нагнетателей и тепловых двигателей с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации и применением средств и систем автоматизации выполнения;
- методиками проведения экспериментов на нагнетателях и тепловых двигателях различного типа с привлечением соответствующего математического аппарата. Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (уровень бакалавриата).

Таблица 1 – Результаты обучения

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Индикаторы сформированности компетенций
2	ПК-1. Способен к разработке схем размещения объектов профессиональной деятельности (ОПД) в соответствии с технологией производства.	Компоненты компетенции реализуются полностью	ИПК-1.1 Участвует в разработке схем размещения объектов профессиональной деятельности в соответствии с технологией производства. ИПК-1.2 Соблюдает правила технологической дисциплины при эксплуатации объектов профессиональной деятельности.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Таблица 2 - Содержание разделов дисциплины (модуля), виды работы

Содержание разделов (модулей), тем дисциплины	Количество часов, выделяемых на виды учебной подготовки по формам обучения											
	Очная				Очно- заочная				Заочная			
	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР	Л	ЛР	ПР	СР
<p>Тема 1. Введение Значение дисциплины в формировании инженера-промтеплоэнергетика. Отечественные и зарубежные достижения в исследовании и создании нагнетателей и тепловых двигателей. Место и роль нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Перспективы их разработки, производства и применения в народном хозяйстве исходя из задач ускорения научно-технического прогресса в промышленности и энергетике.</p> <p>Классификация нагнетателей и тепловых двигателей, основные понятия и определения. Общность теоретических положений при комплексном изучении нагнетателей и тепловых двигателей. Анализ влияния начальных условий, охлаждения и подвода тепла, сжимаемости и типа рабочего тела на работу сжатия и расширения. Определение мощности машины, понятие о КПД нагнетателя и теплового двигателя.</p>	2	-	-	6	1	-	-	8	1	-	-	10
<p>Тема 2 Гидрогазодинамические и термодинамические основы работы нагнетателей. Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров. Предельная степень повышения давления в ступени, распределение давления между ступенями.</p> <p>Рабочие параметры машин, подающих жидкости и газы. Основные положения теории течения сжимаемой и несжимаемой сред в нагнетателях. Отличия компрессорного процесса от процессов в насосах и вентиляторах. Термодинамика компрессорного процесса. Коэффициенты полезного действия компрессоров. Охлаждение и ступенчатое сжатие в компрессорах, количество ступеней,</p>	2	-	8	10	2	-	6	8	1	-	4	17

<p>промежуточное давление. Общая классификация потерь в нагнетателях. Учет потерь и переход к действительной характеристике, понятие о рабочей зоне характеристики.</p> <p>Условия работы нагнетателя на сеть, устойчивая и не устойчивая работа нагнетателей, помпаж. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть.</p> <p>Принцип работы и область применения нагнетателей кинетического действия. Понятие удельной работы, напора и давления.</p>												
<p>Тема 3. Центробежные насосы и вентиляторы.</p> <p>Классификация вентиляторов. Области применения, устройство и принцип действия. Способы изменения характеристики вентилятора. Основные допущения струйной теории центробежных нагнетателей. Треугольники скоростей, уравнение Эйлера. Теоретический и действительный напоры, развиваемые колесом. Влияние геометрии рабочих лопастей на создаваемый напор. Мощность и КПД. Многоступенчатые и многопоточные центробежные машины.</p> <p>Теоретические и действительные характеристики нагнетателей. Подобие центробежных машин, коэффициент быстроходности, формулы пропорциональности. Безразмерные и универсальные характеристики. Способы регулирования.</p> <p>Типы рабочих колес насосов различной быстроходности и формы характеристик. Определение основных размеров рабочего колеса, особенности конструкции насосов. Кавитация, допустимая высота всасывания. Меры по предотвращению и ослаблению кавитации. Выбор насосов по заданным рабочим параметрам, приводные двигатели. Устройство, автоматизация и эксплуатация насосных установок.</p> <p>Конструктивное выполнение вентиляторов. Шум в вентиляторах и способы борьбы с ним. Вентиляторные установки. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.</p>	4	4	-	8	1	2	-	8	-	-	-	10
<p>Тема 4. Осевые насосы и вентиляторы.</p> <p>Классификация насосов. Устройство и</p>	2	-	-	4	1	-	-	8	-	-	-	10

<p>принцип действия, решетка профилей. Основные допущения и уравнения вихревой теории осевых турбомашин. Многоступенчатые осевые турбомшины. Теоретический и действительный напоры, потери энергии, КПД. Характеристики осевых насосов и вентиляторов, регулирование режимов работы. Определение основных размеров рабочего колеса. Сопоставление показателей и обоснование преимущественных зон применения центробежных и осевых компрессоров.</p> <p>Конструкции осевых насосов и вентиляторов, области рационального применения, основы эксплуатации и автоматизации. Особенности работы насосов в сети. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.</p>													
<p>Тема 5. Поршневые, роторные и струйные насосы.</p> <p>Принцип действия и индикаторная диаграмма поршневого насоса. Подача, мощность и КПД. Способы уменьшения неравномерности всасывания и подачи. Теоретические и действительные характеристики, регулирование подачи. Допустимая высота всасывания. Определение основных размеров насосов, особенности конструкции и эксплуатации.</p> <p>Области применения роторных насосов (шестеренных, винтовых). Подача, потери энергии. Характеристики, основы эксплуатации. Отличительные особенности поршневых и роторных насосов.</p> <p>Устройство, принцип действия и области применения струйных насосов. Основные рабочие параметры, определение геометрических размеров. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.</p>	2	4	2	4	1	2	-	8	-	-	-	-	10

<p>Тема 6. Центробежные и осевые компрессоры.</p> <p>Области применения. Преобразование энергии в ступени центробежного и осевого компрессоров. Работа, КПД и степень реактивности. Расчет основных размеров ступени. Многоступенчатые турбокомпрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора. Пересчет характеристик турбокомпрессора при изменении частоты вращения, начальных условий всасывания, природы сжимаемой среды. Особенности регулирования. Схема защиты от помпажа.</p> <p>Конструкции турбокомпрессоров и их узлов. Особенности компрессоров для сжатия паров холодильных агентов, кислорода, агрессивных газов. Выбор турбокомпрессора и привода к нему. Техничко-экономические показатели серийно выпускаемых компрессоров. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.</p>	2	-	-	4	1	-	-	8	-	-	-	10
<p>Тема 7. Поршневые и роторные компрессоры.</p> <p>Схемы поршневых компрессоров. Нормализованные базы. Принцип работы поршневого детандера.</p> <p>Теоретическая и действительная индикаторные диаграммы поршневого компрессора. Мертвое пространство и его влияние на подачу, коэффициент подачи. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Характеристики поршневых компрессоров и способы регулирования подачи. Предельная степень повышения давления в одном цилиндре компрессора. Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением и его энергетические преимущества. Определение основных размеров поршневых компрессоров, конструктивное оформление. Экономичность работы компрессора.</p> <p>Роторные компрессоры (пластинчатые и винтовые). Подача, мощность, КПД, регулирование подачи. Конструкции роторных компрессоров.</p> <p>Схемы компрессорных установок, выбор привода и оборудования. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.</p>	2	-	-	4	1	-	-	8	1	-	-	10
<p>Тема 8 Теоретические основы работы турбинной ступени.</p> <p>Область применения различных типов тепловых двигателей. Классификация. Типы паровых</p>	6	2	2	4	2	2	-	8	2	-	2	16

<p>турбин. Стандартные параметры пара. Схема устройства, принцип работы турбинной ступени. Активная и реактивная турбинная ступени. Сопловая и рабочая решетки. Особенности работы сопла с косым срезом. Преобразование энергии потока на лопатках активной и реактивной ступеней. Треугольники скоростей. Определение относительных и абсолютных скоростей потока в активной и реактивной ступенях. Силовое взаимодействие потока с обтекаемой им рабочей решеткой.</p> <p>Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Относительный лопаточный КПД, его зависимость от отношения окружной скорости лопатки и скорости истечения рабочего тела из сопла. Относительный внутренний КПД ступени. Анализ потерь в характерных сечениях турбины. Работа турбинной ступени в переменном режиме. Понятие о диаграмме переменных режимов паровой турбины. Основы регулирования мощности паровых турбин.</p> <p>Парциальный подвод рабочего тела, степень парциальности. Потери энергии при парциальном подводе рабочего тела. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства, принцип действия. Недостатки одноступенчатых турбин и переход к многоступенчатым.</p>												
<p>Тема 9 Многоступенчатые паровые турбины.</p> <p>Преимущества многоступенчатой конструкции. Изображение рабочего процесса многоступенчатой паровой турбины в $i-s$ диаграмме. Коэффициент возврата теплоты, его влияние на КПД. Характеристический коэффициент многоступенчатой турбины. Основы предварительного теплового расчета многоступенчатых турбин.</p> <p>Классификация, обозначения, типы, основные параметры отечественных конденсационных и теплофикационных турбин в соответствии с ГОСТ 3618-78. Конструкции многоступенчатых конденсационных турбин. Конструкции турбин с противодавлением. Турбины для комбинированной выработки.</p>	2	-	4	3	2	-	2	8	1	-	2	14
<p>Тема 10 Переменный режим работы, авторегулирование и защита паровых турбин.</p> <p>Переменный режим работы сопловой решетки. Работа проточной части турбины при</p>	2	-	-	3	1	-	-	8	-	-	-	8

<p>расходах и параметрах пара, отличных от номинальных. Зависимость расходов пара от мощности турбины. Связь расходов рабочего тела с давлением по отсекам турбины. Формула Флюгеля.</p> <p>Парораспределение: дроссельное, сопловое, обводное, скользящим давлением.</p> <p>Регулируемые и нерегулируемые отборы пара, пределы и методы регулирования.</p> <p>Схемы авторегулирования конденсационных и теплофикационных паровых турбин. Масляная система, ее назначение, основные схемы и элементы.</p> <p>Защита паровых турбин от разгона, осевого сдвига ротора, повышения давления в конденсаторе, снижения давления в системах смазки и регулирования.</p>												
<p>Тема 11 Схемы, оборудование и вопросы эксплуатации паротурбинных установок.</p> <p>Принципиальные тепловые схемы современных паротурбинных установок. Термический, абсолютный, внутренний, эффективный и электрический КПД установки, пути их увеличения. Стандартные параметры пара. Энергетические показатели турбоустановок.</p> <p>Вспомогательное оборудование паротурбинных установок: конденсаторы, эжекторы, регенеративные подогреватели, деаэраторы, циркуляционные, питательные и конденсатные насосы.</p> <p>Пуск и остановка турбины, наблюдение за ее работой. Причины неполадок в работе турбины. Основные мероприятия, предупреждающие аварии. Вопросы техники безопасности при эксплуатации турбоустановок.</p>	2	4	-	2	1	4	-	6	-	-	-	8
<p>Тема 12 Газовые турбины и газотурбинные установки</p> <p>Газодинамические основы расчета турбомашин. Принцип работы и схемы газотурбинных установок (ГТУ). Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных газотурбинных установок. Основные способы повышения экономичности и единичной мощности ГТУ. Влияние ступенчатого сжатия</p>	4	2	2	4	2	2	-	8	2	-	-	14

воздуха, ступенчатого подогрева газа и регенерации на внутренний КПД установки												
<p>Тема 13 Двигатели внутреннего сгорания.</p> <p>Роль двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в народном хозяйстве. Принцип работы, классификация и область применения двигателей внутреннего сгорания, двигателей Стерлинга. Схемы двигателей, основные показатели работы двигателей. Схема устройства и принцип действия четырех- и двухтактного ДВС, их сравнение. Индикаторные диаграммы. Среднее индикаторное давление. Индикаторная и эффективная мощность, КПД и удельный расход топлива. Тепловой баланс ДВС. Определение основных размеров цилиндра двигателя.</p> <p>Типы топлив, применяемых в ДВС. Физико-химические свойства и эксплуатационно-технические показатели газообразного и жидкого топлив. Топливоподающая система и смесеобразование в дизелях. Топливоприготовление в ДВС с внешним смесеобразованием. Принцип действия, карбюратора и газосмесителя. Система зажигания карбюраторных и газовых двигателей. Конструктивные особенности и основные элементы ДВС. Повышение мощности ДВС, системы наддува.</p> <p>Режимы работы ДВС, скоростные и нагрузочные характеристики. Утилизация теплоты выхлопных газов и охлаждающей воды. Основы эксплуатации ДВС. Мероприятия по охране труда.</p>	6	2	8	4	2	-	4	8	2	-	2	14
ИТОГО	38	18	30	58	18	12	14	100	10	-	10	151

ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гримитлин, А. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий : учеб. пособие / А. М. Гримитлин, О. П. Иванов, В. А. Пухкал. - Санкт-Петербург : АВОК Северо-Запад, 2006. - 203 с. - (Серия "Учебная библиотека АВОК Северо-Запад"). - ISBN 5-902146-09-0 : 170-00.38.76 - Г 84 (количество экземпляров - 18).
2. Щегляев, А. В. Паровые турбины: теория теплового процесса и конструкции турбин : учебник для вузов / А. В. Щегляев. - Изд. 5-е, доп. - Москва : Энергия, 1976. - 356, [1] с. : ил., чертежи. - 2-39.31.363 - Щ 33 (количество экземпляров - 21).
3. Паровые и газовые турбины для электростанций: учебник для вузов / А. Г. Костюк [и др.]; под ред. А. Г. Костюка. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Москва : Изд. дом МЭИ, 2008. -

- 556 с. : ил. - Библиогр.: с. 555-556. - ISBN 978-5-383-00268-1 : 1156-91. 31.363 - П 18 (количество экземпляров - 30).
4. Черкасский В. М. Насосы. Вентиляторы. Компрессоры : учебник для теплоэнергет. специальностей вузов / В. М. Черкасский. - Москва : Энергия, 1977. - 421, [1] с. - Библиогр.: с. 416-417. - 1-30. 39.459 - Ч-48 (количество экземпляров - 6).
 5. Шляхин, П. Н. Паровые и газовые турбины : учебник / П. Н. Шляхин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1974. - 224 с. - 1-75.31.363 - Ш 70 (количество экземпляров - 6).
 6. Паровые турбины: Курсовое проектирование : учеб. пособие для вузов / М. М. Зуб. - Киев : Вища шк., 1974. - 88 с. : табл. - 0-25. 31.363 - 3-91, (количество экземпляров - 45). Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей : учебник для вузов / [С. И. Ефимов и др.] ; под общ. ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1985. - 455, [1] с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 2-00.39.455.5 - Д 23 (количество экземпляров - 2).
 7. Двигатели внутреннего сгорания : Теория поршневых и комбинированных двигателей : учебник для вузов / [Д. Н. Вырубов и др.] ; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 1983. - 374, [1] с. : ил. - Авт. указаны на обороте тит. л. - 1-70.39.455.5 - Д 23 (количество экземпляров - 3).

СОДЕРЖАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Введение

Значение дисциплины в формировании инженера-промтеплоэнергетика. Отечественные и зарубежные достижения в исследовании и создании нагнетателей и тепловых двигателей. Место и роль нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Перспективы их разработки, производства и применения в народном хозяйстве исходя из задач ускорения научно-технического прогресса в промышленности и энергетике.

Классификация нагнетателей и тепловых двигателей, основные понятия и определения. Общность теоретических положений при комплексном изучении нагнетателей и тепловых двигателей. Анализ влияния начальных условий, охлаждения и подвода тепла, сжимаемости и типа рабочего тела на работу сжатия и расширения. Определение мощности машины, понятие о КПД нагнетателя и теплового двигателя.

Необходимо обратить внимание на масштабы применения нагнетателей и тепловых двигателей в промышленной теплоэнергетике и перспективы их развития с целью создания экономичных и надежных теплотехнологических и теплоэнергетических установок. Следует ознакомиться с развитием отечественного энергомашиностроения, ролью русских ученых в этой области.

Рекомендуется уяснить смысл основных понятий и определений, а также принципы классификации нагнетателей и тепловых двигателей в соответствии с действующими ГОСТами, обратив особое внимание на классификацию по принципу действия. Следует четко представлять области использования различных машин.

Литература: [1]; [3]; [4]; [5]; [6]; [7]

Вопросы для самопроверки

1. По каким признакам классифицируются нагнетатели и тепловые двигатели?

2. Каковы области применения объемных, лопастных и струйных нагнетателей?
3. Назовите области применения паровых и газовых турбин, двигателей внутреннего сгорания.

2. Гидрогазодинамические и термодинамические основы работы нагнетателей

Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров. Предельная степень повышения давления в ступени, распределение давления между ступенями.

Рабочие параметры машин, подающих жидкости и газы. Основные положения теории течения сжимаемой и несжимаемой сред в нагнетателях. Отличия компрессорного процесса от процессов в насосах и вентиляторах. Термодинамика компрессорного процесса. Коэффициенты полезного действия компрессоров. Охлаждение и ступенчатое сжатие в компрессорах, количество ступеней, промежуточное давление. Общая классификация потерь в нагнетателях. Учет потерь и переход к действительной характеристике, понятие о рабочей зоне характеристики.

Условия работы нагнетателя на сеть, устойчивая и не устойчивая работа нагнетателей, помпаж. Совместная работа нагнетателей. Параллельная и последовательная работа нагнетателей на общую сеть. Принцип работы и область применения нагнетателей кинетического действия. Понятие удельной работы, напора и давления.

В результате изучения этой темы студент должен знать основные рабочие параметры нагнетателей (подача, напор, давление, удельная работа, мощность, КПД). Нужно научиться записывать и анализировать уравнения сохранения энергии с учетом полезной работы нагнетателя для несжимаемой и сжимаемой сред, представлять основные отличия компрессорного процесса от процессов в насосах и вентиляторах.

Из курса «Техническая термодинамика» следует повторить процессы сжатия идеального газа в одноступенчатом и многоступенчатом компрессорах, изображение их в $p-v$ - и $T-s$ -диаграммах, формулы для расчета работы с использованием параметров торможения. Необходимо обратить внимание на то, что наименьшая работа затрачивается в компрессорном процессе с изотермическим сжатием. Поэтому различные способы охлаждения компрессоров повышают их экономичность. Следует уяснить причины невозможности оценки эффективности компрессоров при помощи энергетического КПД, смысл использования для этого относительных термодинамических КПД — изотермического, и изоэнтروпного.

Рекомендуется уяснить основные условия совместной работы нагнетателя и трубопроводной системы (сети), формы характеристик нагнетателей, которые обеспечивают его устойчивую и неустойчивую работу на сеть, причины последовательного и параллельного соединения нагнетателей.

Литература: [1]; [4]

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте основные рабочие параметры нагнетателей.
2. Дайте сравнительную оценку энергетической экономичности компрессорных процессов.
3. Как в компрессорах осуществляется процесс сжатия, близкий к изотермическому?
4. В чем экономические преимущества многоступенчатого сжатия по сравнению с одноступенчатым? Проиллюстрируйте это при помощи $p-v$ и $T-s$ -диаграмм.
5. Объясните физический смысл относительных изотермического и изоэнтропного КПД для компрессоров.
6. Проанализируйте уравнение характеристики сети. От чего зависит ее крутизна и напор холостого хода?

7. В одноступенчатом водоохлаждаемом компрессоре с массовой подачей $G = 0,2$ кг/с давление воздуха повышается с $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 0,7$ МПа, начальная температура воздуха $t_1 = 27^\circ\text{C}$, показатель политропы сжатия $m=1,25$. На сколько уменьшится работа сжатия L , если оно будет происходить в двухступенчатом компрессоре ($z = 2$) по политропе с прежним показателем при одинаковой работе сжатия в каждой ступени, причем охлаждение воздуха в промежуточном охладителе производится до начальной температуры? Перепадом давлений в охладителе можно пренебречь.

3. Центробежные насосы и вентиляторы

Классификация вентиляторов. Области применения, устройство и принцип действия. Способы изменения характеристики вентилятора. Основные допущения струйной теории центробежных нагнетателей. Треугольники скоростей, уравнение Эйлера. Теоретический и действительный напоры, развиваемые колесом. Влияние геометрии рабочих лопастей на создаваемый напор. Мощность и КПД. Многоступенчатые и многопоточные центробежные машины.

Теоретические и действительные характеристики нагнетателей. Подобие центробежных машин, коэффициент быстроходности, формулы пропорциональности. Безразмерные и универсальные характеристики. Способы регулирования.

Типы рабочих колес насосов различной быстроходности и формы характеристик. Определение основных размеров рабочего колеса, особенности конструкции насосов. Кавитация, допустимая высота всасывания. Меры по предотвращению и ослаблению кавитации. Выбор насосов по заданным рабочим параметрам, приводные двигатели. Устройство, автоматизация и эксплуатация насосных установок.

Конструктивное выполнение вентиляторов. Шум в вентиляторах и способы борьбы с ним. Вентиляторные установки. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

Следует понять физический смысл уравнения теоретического напора, получаемого на основе струйной теории, научиться его анализировать. Необходимо уяснить причины снижения действительного напора по сравнению с теоретическим. Особое внимание надо обратить на влияние угла β_2 на напор, развиваемый колесом, на - области применения в реальных нагнетателях лопаток различных типов. Рекомендуется уяснить все виды потерь в центробежных машинах, а также необходимость применения многоступенчатых и многопоточных насосов.

Необходимо понять влияние типа рабочих лопаток и потерь в нагнетателе на форму рабочих характеристик, научиться анализировать с их помощью экономичность различных способов регулирования и пересчитывать характеристики при изменении частоты вращения вала на основании подобия центробежных машин.

При рассмотрении насосов следует обратить внимание на способы предотвращения такого опасного явления, как кавитация, научиться рассчитывать допустимую геометрическую высоту установки насоса. Необходимо уяснить конструктивные особенности центробежных насосов и вентиляторов, состав оборудования установок на их основе, особенности эксплуатации.

Литература: [1]; [4]

Вопросы для самопроверки

- 1 Проанализируйте уравнение для теоретического напора, развиваемого колесом центробежной машины. За счет чего происходит повышение статического напора?
- 2 Почему действительный напор, развиваемый колесом, меньше теоретического?
- 3 Как влияет выходной угол β_2 на напор и степень реактивности рабочего колеса?
- 4 Назовите размерные и безразмерные параметры, характеризующие работу вентилятора.
- 5 Дайте понятие коэффициента быстроходности. Для каких целей введен этот критерий?

- 6 Перечислите основные элементы аэродинамической схемы центробежного вентилятора.
- 7 Поясните обозначение центробежного вентилятора Ц 4-70 № 8 общего назначения.
- 8 Какие виды лопаток применяются в центробежных вентиляторах?
- 9 Как осуществляется построение спирального корпуса вентилятора по правилу конструкторского квадрата?
- 10 По каким признакам классифицируются центробежные вентиляторы?
- 11 Поясните семь конструктивных исполнений центробежных вентиляторов.
- 12 Какие типы рабочих лопастей применяются в насосах и вентиляторах?
- 13 Какие потери учитывает полный КПД центробежной машины?
- 14 Объясните причины выполнения центробежных машин многоступенчатыми и многопоточными.
- 15 От каких факторов зависит форма рабочих характеристик центробежных машин?
- 16 Запишите формулы пропорциональности, которые используются для, пересчета характеристик при изменении частоты вращения вала машины.
- 17 Каким образом осуществляется защита деталей центробежных вентиляторов и дымососов от абразивного износа?
- 18 Изобразите размерные аэродинамические характеристики центробежного вентилятора. Покажите рабочие участки или области характеристики вентилятора.
- 19 Изобразите безразмерные характеристики вентилятора и поясните, как ими пользоваться.
- 20 Дайте понятие об эксплуатационном КПД вентилятора.
- 21 Каким образом осуществляется выбор тягодутьевых устройств котлов по размерной характеристике?

4. Осевые насосы и вентиляторы

Классификация насосов. Устройство и принцип действия, решетка профилей. Основные допущения и уравнения вихревой теории осевых турбомашин. Многоступенчатые осевые турбомашин. Теоретический и действительный напоры, потери энергии, КПД. Характеристики осевых насосов и вентиляторов, регулирование режимов работы. Определение основных размеров рабочего колеса. Сопоставление показателей и обоснование преимущественных зон применения центробежных и осевых компрессоров.

Конструкции осевых насосов и вентиляторов, области рационального применения, основы эксплуатации и автоматизации. Особенности работы насосов в сети. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

Данный тип машин рекомендуется рассматривать в сравнении с центробежными машинами. Следует обратить внимание на кинематику потока в решетке профилей осевой машины, физический смысл уравнения энергии, форму рабочих характеристик. Необходимо изучить энергетические потери и их влияние на полный КПД ступени. Нужно внимательно ознакомиться с особенностями регулирования, основными конструктивными типами осевых насосов и вентиляторов. Следует уяснить особенности расчета конструктивных размеров.

Литература: [1]; [4]

Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите области применения осевых насосов и вентиляторов.
- 2 Проанализируйте уравнение энергии для осевой машины. Почему она создает меньший напор по сравнению с центробежной?
- 3 Охарактеризуйте потери энергии и КПД осевой машины.
- 4 Почему осевые машины выполняются многоступенчатыми, но не многопоточными?
- 5 Чем отличаются, характеристики осевых вентиляторов от характеристик центробежных?

- 6 Почему осевые насосы пускаются при открытой нагнетательной задвижке?
- 7 Назовите наиболее экономичные способы регулирования осевых машин.
- 8 Почему длинные лопасти осевых машин делают закрученными по длине?
- 9 Перечислите основные элементы аэродинамической схемы осевого вентилятора.
- 10 Приведите схимы одно- и многоступенчатых осевых вентиляторов, поясните назначение основных элементов вентиляторов.
- 11 Поясните основные конструктивные исполнения осевых вентиляторов общего назначения.
- 12 Назначение и конструктивные особенности дутьевых вентиляторов, дымососов и мельничных вентиляторов.
- 13 Как осуществляется борьба с отложениями золы и пыли в вентиляторах и дымососах ?
- 14 Изобразите размерные аэродинамические характеристики осевого вентиляторов. Покажите рабочие участки или области характеристики вентилятора.
- 15 Изобразите безразмерные характеристики вентилятора и поясните, как ими пользоваться.

5. Поршневые, роторные и струйные насосы

Принцип действия и индикаторная диаграмма поршневого насоса. Подача, мощность и КПД. Способы уменьшения неравномерности всасывания и подачи. Теоретические и действительные характеристики, регулирование подачи. Допустимая высота всасывания. Определение основных размеров насосов, особенности конструкции и эксплуатации.

Области применения роторных насосов (шестеренных, винтовых). Подача, потери энергии. Характеристики, основы эксплуатации. Отличительные особенности поршневых и роторных насосов.

Устройство, принцип действия и области применения струйных насосов. Основные рабочие параметры, определение геометрических размеров. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

При изучении поршневых и роторных насосов следует обратить внимание на принцип действия, расчет подачи, способы снижения ее неравномерности, определение мощности и КПД. Необходимо уяснить влияние неравномерности движения поршня на допустимую высоту всасывания, соотношение между характерными размерами насоса в зависимости от его быстроходности.

Нужно обратить внимание, что поршневые и роторные насосы с ростом давления снижают подачу менее значительно, чем центробежные и осевые. Эту особенность следует учитывать при рассмотрении характеристик и способов регулирования поршневых насосов.

При изучении струйных насосов необходимо понять рабочие процессы в его основных частях, влияние коэффициента инжекции на развиваемое давление.

Литература: [1]; [4]

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите отличия действительной индикаторной диаграммы поршневого насоса от теоретической.
2. Объясните сущность способов уменьшения неравномерности движения жидкости в трубопроводной системе, соединенной с поршневым насосом.
3. Почему в поршневых насосах с ростом средней скорости поршня уменьшается отношение хода поршня к диаметру?
4. От чего зависит объемный КПД поршневого и роторного насосов?
5. Назовите факторы, влияющие на допустимую высоту всасывания поршневого насоса.
6. Что может произойти, если у работающего поршневого насоса нагнетательный клапан прикрыть или полностью закрыть? Покажите это на совмещенной характеристике насоса и сети.

7. Охарактеризуйте потери энергии в поршневом, шестеренчатом и винтовом насосах. Какой из этих насосов при прочих равных условиях будет более экономичным?

8. Охарактеризуйте рабочие процессы в основных частях струйного насоса. От каких факторов зависит степень повышения давления в нем?

6 Центробежные и осевые компрессоры

Области применения. Преобразование энергии в ступени центробежного и осевого компрессоров. Работа, КПД и степень реактивности. Расчет основных размеров ступени. Многоступенчатые турбокомпрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора. Пересчет характеристик турбокомпрессора при изменении частоты вращения, начальных условий всасывания, природы сжимаемой среды. Особенности регулирования. Схема защиты от помпажа.

Конструкции турбокомпрессоров и их узлов. Особенности компрессоров для сжатия паров холодильных агентов, кислорода, агрессивных газов. Выбор турбокомпрессора и привода к нему. Техничко-экономические показатели серийно выпускаемых компрессоров. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

Следует научиться записывать и анализировать уравнения энергии для ступени центробежного и осевого компрессоров, понять влияние сжимаемости среды, ее изменяющихся термодинамических параметров на относительные термодинамические КПД и энергию, которую приобретает поток. Необходимо обратить внимание, что с увеличением степени реактивности ступени осевого компрессора при прочих равных условиях возрастают удельная работа, протечки среды через радиальные зазоры, осевая (сдвигающая) сила, вследствие чего увеличиваются масса и габариты. Однако ступени с высокой реактивностью имеют более широкий диапазон устойчивой работы и более высокую степень повышения давления. Надо уяснить причины, ограничивающие степень повышения давления в ступени турбокомпрессора и приводящие к многоступенчатым конструкциям.

Следует хорошо усвоить алгоритмы пересчета характеристик компрессоров. Навыки таких расчетов необходимы для выбора компрессоров.

При изучении конструктивных особенностей технологических турбокомпрессоров, работающих на различных средах, следует обратить внимание на влияние таких факторов, как работа в широком диапазоне давлений нагнетания и всасывания, наличие неиспарившихся капель среды, ее конденсация, проницаемость среды через разъемы и поры чугунных отливок, взаимодействие среды с конструкционными материалами, утечки среды и подсос воздуха. Важнейшей особенностью турбокомпрессоров является полное отсутствие масла в рабочем пространстве.

Литература: [1]; [4]

Вопросы для самопроверки

1. В чем отличие принципа действия осевого компрессора от центробежного?
2. Почему центробежные компрессоры по сравнению с осевыми обеспечивают более высокую степень повышения давления?
3. Чем отличаются характеристики осевого компрессора от характеристик центробежного компрессора?

7. Поршневые и роторные компрессоры

Схемы поршневых компрессоров. Нормализованные базы. Принцип работы поршневого детандера.

Теоретическая и действительная индикаторные диаграммы поршневого компрессора. Мертвое пространство и его влияние на подачу, коэффициент подачи. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Характеристики поршневых компрессоров и способы регулирования подачи. Предельная степень повышения давления в одном цилиндре компрессора. Многоступенчатое сжатие с промежуточным охлаждением и его энергетические преимущества. Определение основных размеров поршневых компрессоров, конструктивное оформление. Экономичность работы компрессора.

Роторные компрессоры (пластинчатые и винтовые). Подача, мощность, КПД, регулирование подачи. Конструкции роторных компрессоров.

Схемы компрессорных установок, выбор привода и оборудования. Вопросы эксплуатации и техники безопасности.

При рассмотрении поршневых компрессоров следует разобраться в основных отличиях действительной индикаторной диаграммы от теоретической, а также в причинах снижения действительной подачи по сравнению с теоретической. Рекомендуется научиться рассчитывать по заданной подаче теоретическую подачу, которая является паспортной величиной и используется при выборе компрессоров. Надо, обратить внимание на температурные пределы сжатия газа в ступенях одно- и многоступенчатых компрессоров, понять преимущества и недостатки конструктивных исполнений. Рекомендуется обратить внимание на форму характеристик поршневых компрессоров и экономичность различных способов их регулирования. При изучении роторных компрессоров следует уяснить их отличительные особенности по сравнению с поршневыми.

Особое внимание необходимо обратить на то, что объемный принцип действия, используемый в поршневых и роторных компрессорах, обеспечивает их работу на любых рабочих средах без изменения конструкции. Эти компрессоры эксплуатируются, как правило, при наличии масла в рабочем пространстве.

Следует ознакомиться со схемами компрессорных установок, уяснить назначение основного и вспомогательного оборудования.

Литература: [1]; [4]

Вопросы для самопроверки

- 1 Что такое индикаторная диаграмма компрессора?
- 2 Перечислите отличия теоретической индикаторной диаграммы поршневого компрессора от действительной.
- 3 Чем ограничивается предельная степень повышения давления в ступени поршневого компрессора?
- 4 Перечислите конструкции поршней, их применение в поршневых компрессорах различных типов.
- 5 Назовите наиболее экономичные способы регулирования поршневых компрессоров.
- 6 От каких факторов зависит коэффициент подачи поршневого и роторного компрессоров?
- 7 Какой из роторных компрессоров, винтовой или пластинчатый, наиболее экономичен и почему?
- 8 Назовите состав и охарактеризуйте назначение оборудования компрессорной установки.
- 9 Крейцкопфные и бескрейцкопфные компрессоры, их различие и области применения.
- 10 Что такое относительное мертвое пространство поршневого компрессора?
- 11 Объемная, массовая, приведенная производительность компрессора?
- 12 Какие потери учитываются при рассмотрении действительного процесса поршневого компрессора?
- 13 Как определяется индикаторная мощность компрессора?
- 14 Оптимальные степени повышения давления поршневых компрессоров.

- 15 Выбор оптимального числа ступеней поршневого компрессора.
- 16 Из каких фаз состоит рабочий цикл винтового компрессора?
- 17 Назовите основные профили винтового зацепления компрессора?
- 18 Отличие теоретической и действительной производительности винтового компрессора.
- 19 Какие оптимальные значения окружных скоростей у винтовых маслозаполненных компрессоров?
- 20 Назовите внутренние и внешние потери винтового компрессора.
- 21 Зачем эксцентриситет между ротором и статором у ротационно-пластинчатого компрессора?
- 22 Какова роль разгрузочных колец у ротационно-пластинчатого компрессора?
- 23 Назовите основные элементы рабочих органов ротационно-пластинчатого компрессора?
- 24 Какие основные потери в ротационно-пластинчатом компрессоре?
- 25 Допустимые окружные скорости торцев пластин у компрессоров с разгрузочными кольцами и без них.
- 26 В чем отличие винтового компрессора сухого трения от компрессора маслозаполненного?

8. Теоретические основы работы турбинной ступени

Область применения различных типов тепловых двигателей. Классификация. Типы паровых турбин. Стандартные параметры пара. Схема устройства, принцип работы турбинной ступени. Активная и реактивная турбинная ступени. Сопловая и рабочая решетки. Особенности работы сопла с косым срезом. Преобразование энергии потока на лопатках активной и реактивной ступеней. Треугольники скоростей. Определение относительных и абсолютных скоростей потока в активной и реактивной ступенях. Силовое взаимодействие потока с обтекаемой им рабочей решеткой.

Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Относительный лопаточный КПД, его зависимость от отношения окружной скорости лопатки и скорости истечения рабочего тела из сопла. Относительный внутренний КПД ступени. Анализ потерь в характерных сечениях турбины. Работа турбинной ступени в переменном режиме. Понятие о диаграмме переменных режимов паровой турбины. Основы регулирования мощности паровых турбин.

Парциальный подвод рабочего тела, степень парциальности. Потери энергии при парциальном подводе рабочего тела. Турбинная ступень скорости, ее назначение, схема устройства, принцип действия. Недостатки одноступенчатых турбин и переход к многоступенчатым.

Необходимо уяснить назначение основных элементов турбинной ступени, характер изменения энтальпии, давления, удельного объема и скорости рабочего тела в проточной ее части, а также особенности активной и реактивной турбинных ступеней.

Из курса «Техническая термодинамика» следует повторить основные уравнения для потока сжимаемой среды, процессы истечения из суживающихся и расширяющихся сопел. Следует помнить, что сопло с косым срезом при отношении давлений, меньших критического, позволяет получить сверхзвуковой поток даже при суживающихся каналах, так как косой срез играет роль расширяющейся части сопла Лаваля.

Изучая процессы преобразования энергии в сопловых и рабочих решетках ступени, рекомендуется научиться строить треугольники скоростей и процесс расширения рабочего тела в $i-s$ -диаграмме с учетом потерь энергии. Следует усвоить, что аэродинамические силы, действующие на рабочие лопатки, приводят к появлению окружного усилия, определяющего работу ступени, и осевого усилия, воспринимаемого упорным подшипником ротора. Необходимо обратить внимание, что удельная полезная работа турбинной ступени, как и в ступени центробежного нагнетателя, может быть рассчитана по уравнению Эйлера.

Рекомендуется внимательно разобраться в потерях энергии, которые учитывают относительный лопаточный и внутренний относительный КПД, понять особенности устройства и работы двухвенечной турбинной ступени, научиться сравнивать активные и реактивные ступени.

Литература: [2]; [3]; [5]

Вопросы для самопроверки

1. Из каких основных элементов состоит турбинная ступень?
2. Чем отличаются ступени активного и реактивного типов? Что такое степень реактивности? изобразите тепловой процесс реактивной ступени в i - s -диаграмме.
3. Объясните физический смысл коэффициентов скорости ϕ и ψ .
4. Для чего строят треугольники скоростей? Какие основные зависимости из них вытекают?
5. Какие потери учитывает относительный лопаточный КПД ступени?
6. Объясните влияние на относительный лопаточный КПД окружной и абсолютной скоростей выхода пара из сопл.
7. Какие дополнительные потери учитывает относительный внутренний КПД ступени по сравнению с лопаточным?
8. Опишите суживающиеся и расширяющиеся сопла с косым срезом и процесс расширения в них пара в i — s -диаграмме.
9. Какая из ступеней — активная или реактивная — имеет больший теплоперепад при одинаковом диаметре, частоте вращения и оптимальном выполнении?
10. Каковы достоинства и недостатки парциальных ступеней? Какие дополнительные потери возникают в таких ступенях?
11. Что такое осевое давление в реактивной турбине? Способы уравнивания осевого давления.
12. В каких случаях применяют ступени скорости?
13. Для турбинной ступени постройте входной треугольник скоростей, если располагаемый теплоперепад $H_0=110$ кДж/кг, скоростной коэффициент сопл $\phi = 0,965$, угол наклона сопла к плоскости диска $\alpha, = 16^\circ$, отношение окружной скорости на середине лопатки к абсолютной скорости истечения из сопл $u/c = 0,44$, степень реактивности ступени $\rho = 0,5$

9. Многоступенчатые паровые турбины

Преимущества многоступенчатой конструкции. Изображение рабочего процесса многоступенчатой паровой турбины в i - s диаграмме. Коэффициент возврата теплоты, его влияние на КПД. Характеристический коэффициент многоступенчатой турбины. Основы предварительного теплового расчета многоступенчатых турбин.

Классификация, обозначения, типы, основные параметры отечественных конденсационных и теплофикационных турбин в соответствии с ГОСТ 3618-78. Конструкции многоступенчатых конденсационных турбин. Конструкции турбин с противодавлением. Турбины для комбинированной выработки.

Необходимо уяснить преимущества и недостатки многоступенчатых турбин перед одноступенчатыми. Следует обратить внимание на явление возврата теплоты, за счет которого тепловая энергия потерь предыдущих ступеней используется для выработки полезной энергии. Нужно помнить, что положительным фактором здесь служит увеличение числа ступеней, а не тепловые потери, так как возвращается лишь некоторая их часть.

Нужно понять смысл факторов, влияющих на выбор типа и числа ступеней, и затруднений, которые возникают при разработке мощных многоступенчатых турбин. Следует внимательно разобраться во всех потерях, которые имеют место в многоступенчатой турбине, уяснить

смысл таких понятий, как располагаемая, внутренняя, эффективная и электрическая мощности турбины.

Рекомендуется на конкретных примерах ознакомиться с методикой предварительного теплового расчета многоступенчатых турбин, обратив внимание на выбор исходных данных и проточной части, построение процесса в $i-s$ -диаграмме, оценку диаметров, числа ступеней и распределение теплоперепадов по ступеням.

Следует четко понять особенности конструктивного исполнения паровых турбин типов К, Т, П, ПТ, Р и ПР. Разбирая устройство турбин, надо обратить внимание на применяемые в турбостроении материалы, установку турбоагрегата на фундаменте, способы крепления рабочих и сопловых лопаток, диафрагм, конструкцию ротора и статора, устройство уплотнений, расположение опорных и упорных подшипников, типы соединительных муфт и назначение валоповоротного механизма.

Литература: [2]; [3]; [5]

Вопросы для самопроверки

- 1 Почему применяют многоступенчатые турбины?
- 2 Как классифицируют паровые турбины?
- 3 Перечислите преимущества и недостатки многоступенчатых турбин.
- 4 Как определяется число ступеней давления в многоступенчатой турбине? Как распределяется теплоперепад между ступенями?
- 5 Что такое возврат теплоты? Как это явление влияет на относительный внутренний КПД турбины?
- 6 Какие потери в многоступенчатой турбине учитываются относительным внутренним КПД турбины и относительным внутренним КПД ступени?
- 7 Что ограничивает предельную мощность паровой турбины? Перечислите конструктивные меры по ее увеличению.
- 8 Какие потери учитывает относительный электрический КПД турбогенератора?
- 9 Перечислите отличительные особенности турбин типов К, Т, П, ПТ, Р и ПР.
- 10 В чем выгода использования титановых сплавов для изготовления турбинных лопаток?
- 11 С какой целью в турбине устанавливаются концевые уплотнения?
- 12 Какие факторы определяют конструкцию хвостового соединения рабочих лопаток?
- 13 Какие требования предъявляются к конструкции проточной части турбин с реактивностью на рабочих лопатках?
- 14 Опишите реактивные турбины, особенности их конструкций и тепловой процесс на ее ступенях.
- 15 Перечислите тепловые потери в турбине и нанесите их изображение на $I-s$ -диаграмму.
- 16 Предельные мощности турбины и обоснования их конструктивного выполнения.
- 17 Опишите принципиальную тепловую схему турбоустановки с регенеративными отборами пара и деаэратором, и изобразите ее тепловой процесс в $I-s$ -диаграмме.
- 18 Как изменяется давление пара в ступенях турбины при уменьшении расхода пара через нее?

10. Переменный режим работы, авторегулирование и защита паровых турбин

Переменный режим работы сопловой решетки. Работа проточной части турбины при расходах и параметрах пара, отличных от номинальных. Зависимость расходов пара от мощности турбины. Связь расходов рабочего тела с давлением по отсекам турбины. Формула Флюгеля.

Парораспределение: дроссельное, сопловое, обводное, скользящим давлением.

Регулируемые и нерегулируемые отборы пара, пределы и методы регулирования.

Схемы авторегулирования конденсационных и теплофикационных паровых турбин. Масляная система, ее назначение, основные схемы и элементы.

Защита паровых турбин от разгона, осевого сдвига ротора, повышения давления в конденсаторе, снижения давления в системах смазки и регулирования.

При рассмотрении переменного режима работы ступени следует обратить внимание, что изменение нагрузки, а следовательно, расхода пара и отклонение параметров пара от номинальных может привести к значительному отличию от расчетных значений таких характеристик ступени, как теплоперепад, степень реактивности, отношение окружной скорости к скорости на выходе из сопл и т. д. На основе формулы Флюгеля необходимо научиться анализировать работу ступеней турбин типа **К** и **Р**. Рекомендуется обратить внимание на области применения различных способов парораспределения, их экономичность. Следует четко представлять задачи и принципы устройства систем авторегулирования конденсационных и теплофикационных турбин.

Литература: [2]; [3]; [5]

Вопросы для самопроверки

- 1 Назовите способы изменения мощности паровых турбин.
- 2 В чем сущность работы турбинной ступени при режимах, отличающихся от расчетных?
- 3 Как распределяются давления и теплоперепады по ступеням турбины при переменном пропуске пара?
- 4 В чем различие дроссельного и соплового парораспределения?
- 5 Какие схемы регулирования применяются в турбинах? Их назначение?

11. Схемы, оборудование и вопросы эксплуатации паротурбинных установок

Принципиальные тепловые схемы современных паротурбинных установок. Термический, абсолютный, внутренний, эффективный и электрический КПД установки, пути их увеличения. Стандартные параметры пара. Энергетические показатели турбоустановок.

Вспомогательное оборудование паротурбинных установок: конденсаторы, эжекторы, регенеративные подогреватели, деаэраторы, циркуляционные, питательные и конденсатные насосы.

Пуск и остановка турбины, наблюдение за ее работой. Причины неполадок в работе турбины. Основные мероприятия, предупреждающие аварии. Вопросы техники безопасности при эксплуатации турбоустановок.

Перед изучением этой темы необходимо повторить из курса «Техническая термодинамика», циклы паротурбинных установок и пути повышения их КПД. Далее следует внимательно ознакомиться с тепловыми схемами современных паротурбинных установок, а также турбинных установок атомных электростанций.

Литература: [2]; [3]; [5]

Вопросы для самопроверки

- 1 Почему в паротурбинной установке начальное давление пара нельзя увеличивать независимо от его температуры?
- 2 Чем определяется минимальное давление в конденсаторе?

- 3 Почему в паротурбинных установках выгоден регенеративный подогрев питательной воды?
- 4 Чем вредны присосы воздуха в конденсатор?
- 5 Что называют переохлаждением конденсата?
- 6 Какое значение имеют защитные устройства, применяемые в паровых турбинах.
- 7 Опишите конструкцию и принципиальные схемы конденсационных устройств.
- 8 Из каких элементов состоит система маслоснабжения паротурбинного агрегата?

12. Газовые турбины и газотурбинные установки

Газодинамические основы расчета турбомашин. Принцип работы и схемы газотурбинных установок (ГТУ). Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных газотурбинных установок. Основные способы повышения экономичности и единичной мощности ГТУ. Влияние ступенчатого сжатия воздуха, ступенчатого подогрева газа и регенерации на внутренний КПД установки

Принцип работы ГТУ следует изучить на примере простейшей ГТУ со сгоранием топлива при постоянном давлении, обратив внимание на потери, которые имеются в реальной установке по сравнению с идеальной. При этом необходимо понять, что внутренние потери в ГТУ в целом оцениваются с помощью внутреннего КПД, а внешние потери — с помощью механического КПД установки. Надо усвоить сущность способов повышения экономичности ГТУ и их единичной мощности.

Конструктивное устройство газовых турбин следует изучать в сравнении с паровыми турбинами, обратив внимание на температурные условия работы материалов, методы повышения термической стойкости турбинных деталей и способы их охлаждения.

Необходимо уяснить особенности применения ГТУ в энергетике и в различных отраслях промышленности.

Литература: [3]; [5]

Вопросы для самопроверки.

- 1 Какие потери имеют место в ГТУ и от чего они зависят?
- 2 Что такое степень регенерации, отчего зависит и как определяется ее величина в ГТУ?
- 3 Опишите схему и цикл ГТУ с двухступенчатым сжатием и промежуточным охлаждением воздуха и двухступенчатым подогревом газа.
- 4 Что достигается путем ступенчатого сжатия воздуха с промежуточным его охлаждением?
- 5 Чем лимитируется предельная единичная мощность ГТУ открытого типа?
- 6 Что достигается путем промежуточного подогрева газа в ГТУ?
- 7 Укажите способы повышения экономичности ГТУ.
- 8 Опишите схему парогазовой установки с высоконапорным парогенератором. Укажите ее достоинства.
- 9 Почему парогазовая установка имеет более высокий к. п. д. по сравнению с паротурбинными и газотурбинными установками?
- 10 Чем определяется начальная температура газа перед газовой турбиной и какие существуют методы повышения ее?
- 11 Чем вызвана необходимость в сложных и многовальных ГТУ?
- 12 Опишите схему ГТУ закрытого типа. Укажите ее достоинства, недостатки, области применения и перспективы развития.
- 13 Какие основные особенности имеют газовые турбины по сравнению с паровыми?
- 14 Как осуществляется регулирование мощности ГТУ?

13. Двигатели внутреннего сгорания

Роль двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в народном хозяйстве. Принцип работы, классификация и область применения двигателей внутреннего сгорания, двигателей Стерлинга. Схемы двигателей, основные показатели работы двигателей. Схема устройства и принцип действия четырех- и двухтактного ДВС, их сравнение. Индикаторные диаграммы. Среднее индикаторное давление. Индикаторная и эффективная мощность, КПД и удельный расход топлива. Тепловой баланс ДВС. Определение основных размеров цилиндра двигателя.

Типы топлив, применяемых в ДВС. Физико-химические свойства и эксплуатационно-технические показатели газообразного и жидкого топлив. Топливоподающая система и смесеобразование в дизелях. Топливоприготовление в ДВС с внешним смесеобразованием. Принцип действия, карбюратора и газосмесителя. Система зажигания карбюраторных и газовых двигателей. Конструктивные особенности и основные элементы ДВС. Повышение мощности ДВС, системы наддува.

Режимы работы ДВС, скоростные и нагрузочные характеристики. Утилизация теплоты выхлопных газов и охлаждающей воды. Основы эксплуатации ДВС. Мероприятия по охране труда.

Следует уяснить преимущества и недостатки ДВС по сравнению с другими тепловыми двигателями, области их рационального применения и перспективы развития. Основное внимание необходимо обратить на физическую сущность рабочих процессов в четырех и двухтактных ДВС, отличия действительных циклов от теоретических, свойства топлив для дизельных и карбюраторных двигателей, способы повышения мощности. Надо понять, что индикаторный удельный расход топлива и индикаторный КПД являются показателями экономичности цикла двигателя, а удельный эффективный расход топлива и эффективный КПД — показателями экономичности двигателя в целом. Рассмотрение уравнения теплового баланса ДВС рекомендуется увязать с анализом способов утилизации теплоты.

Необходимо разобраться в общих принципах устройства ДВС, понимать назначение и действие основных систем и узлов, научиться анализировать работу ДВС при помощи скоростных и нагрузочных характеристик.

Литература: [7]

Вопросы для самопроверки

- 1 Какие преимущества и недостатки у двигателей внутреннего сгорания?
- 2 По каким признакам классифицируются двигатели внутреннего сгорания?
- 3 Чем отличаются устройство и принцип работы двухтактных двигателей от четырехтактных?
- 4 Какие имеются способы повышения мощности двигателей внутреннего сгорания?
- 5 Какие сорта топлив применяются для дизелей и какие — для карбюраторных двигателей?
- 6 Что характеризует октановое число топлива?
- 7 Назовите существующие циклы двигателей внутреннего сгорания и укажи те, какие типы двигателей работают по каждому из этих циклов.
- 8 Что такое детонация, и как она влияет на работу двигателя?
- 9 Какие процессы происходят с рабочим телом при работе двигателя?
- 10 Как определяется температура конца пламенного сгорания в цилиндре двигателя внутреннего сгорания?
- 11 Что называется средним индикаторным давлением, и как оно определяется?
- 12 Что называется индикаторной и эффективной мощностями двигателя, и как они определяются?

- 13 Какими коэффициентами полезного действия оценивается экономичность работы двигателя, и как они определяются?
- 14 Из каких составляющих складывается тепловой баланс двигателя внутреннего сгорания.
- 15 Из каких систем и узлов состоят двигатели внутреннего сгорания?
- 16 Опишите систему топливоподачи дизелей.
- 17 Как регулируется количество подаваемого топлива в камеру сгорания дизеля?
- 18 Чем отличается закрытая форсунка от открытой?
- 19 Как осуществляется смесеобразование в дизелях?
- 20 Опишите систему питания карбюраторных двигателей.
- 21 Опишите систему зажигания карбюраторных и газовых двигателей.
- 22 Опишите систему смазки двигателей.
- 23 Опишите систему охлаждения двигателей.
- 24 Опишите устройство воздушного фильтра.
- 25 Опишите работу газораспределительного механизма четырехтактного двигателя.
- 26 Как устроены турбопоршневые двигатели?
- 27 Назовите основные характеристики двигателей внутреннего сгорания. Что они выявляют?
- 28 Опишите скоростную характеристику двигателя при работе с предельным регулятором.
- 29 Опишите характеристику двигателя при работе с двухрежимным и все-режимным регуляторами.
- 30 Каким образом получают характеристики двигателей?