

Федеральное агентство по образованию

АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ГОУ ВПО «АмГУ»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой энергетики

_____ Н.В. Савина

«_____» _____ 2007 г.

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДИСЦИПЛИНЕ

для специальностей 140204– «Электрические станции»
140205 – «Электроэнергетические системы и сети»
140211 – «Электроснабжение»
140203 – «Релейная защита и автоматизация
электроэнергетических систем»

Составитель: Храмцова Н.Н., Литвиненко О.Е.

Благовещенск

2007 г.

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
энергетического факультета
Амурского государственного
университета

Храмцова Н.Н. Литвиненко О.Е.

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Общая энергетика» для студентов специальности 140204– «Электрические станции», 140205 – «Электроэнергетические системы и сети», 140211 – «Электроснабжение», 140203 – «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2007. – 48 с.

Учебно-методический комплекс предназначен для оказания помощи студентам специальностей 140204– «Электрические станции», 140205 – «Электроэнергетические системы и сети», 140211 – «Электроснабжение», 140203 – «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» в изучении дисциплины «Общая энергетика»: формирования знаний об использовании энергоресурсов, вовлечение в заводские теплотехнологии вторичных энергетических ресурсов и использованию газообразного топлива.

© Храмцова Надежда Николаевна

© Литвиненко Олеся Евгеньевна

© Амурский государственный университет, 2007

АННОТАЦИЯ

Государственный образовательный стандарт подготовки инженера по специальностям: 140204– «Электрические станции», 140205 – «Электроэнергетические системы и сети», 140211 – «Электроснабжение», 140203 – «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», в разделе ОПД.Ф.07.

Согласно учебному плану специальностей данная дисциплина изучается на втором курсе обучения (для заочного обучения – на третьем), предусмотрены следующие виды занятий и формы контроля

Наименование	Очное обучение	Заочное обучение
	Всего часов	Всего часов
Лекции	36	10
Практические занятия	18	4
Самостоятельная работа	36	76
Вид итогового контроля	экзамен	экзамен
Общая трудоемкость дисциплины	90	90

Учебно-методический комплекс дисциплины «Общая энергетика» включает в себя:

1. Рабочую учебную программу дисциплины «Общая энергетика» (Амурский государственный университет, кафедра «Энергетика», 2006. Автор – ассистент каф. «Энергетика» Храмцова Н.Н.);
2. Настоящий учебно-методический комплекс.

В настоящем учебно-методическом комплексе приведен краткий конспект лекций (с указанием тем для самостоятельного изучения и вопросов для самопроверки), методические рекомендации и методические указания по проведению практических занятий, график самостоятельной работы, комплекты заданий для домашних расчетных и контрольных работ, а также материалы по контролю качества образования (методические указания по организации контроля знаний студентов, критерии оценки знаний студентов и фонды тестовых заданий).

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

Государственный образовательный стандарт подготовки дипломированного специалиста по направлению «Электроэнергетика» включает в себя изучение дисциплины «Общая энергетика» в разделе ОПД. Ф.07

Данная дисциплина является общеобразовательной при подготовке электроэнергетиков.

1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью дисциплины является приобретение знаний по основам преобразования энергии топлива в электрическую энергию, изучение термодинамических циклов и устройств тепловых двигателей, основ теплопередачи и массообмена, типов и устройств тепловых электростанций. Существенным для формирования инженера является знакомство с термодинамическим методом исследования систем, который широко применяется и в других областях познания.

1.2. Задачи изучения дисциплины

Основные задачи дисциплины – раскрытие физической сути процессов, протекающих в основных агрегатах станций (котлах, турбинах).

В результате изучения дисциплины в соответствии с квалификационной характеристикой выпускников, студенты должны знать:

- термодинамический подход к исследованию систем и основные дифференциальные уравнения, лежащие в его основе;
- основные термодинамические процессы;
- основы превращения теплоты в работу;
- основы тепло- и массообмена;
- циклы и устройства тепловых двигателей;
- устройство и принцип действия насосов, компрессоров, паровых и газовых турбин;
- основы теории горения;
- устройство котлов;
- вспомогательное оборудование тепловых электростанций;
- типы, схемы, компоновку и технико-экономические характеристики ТЭС;
- устройство гидроэлектростанций;
- возможности электростанций различных типов по покрытию электрических нагрузок;
- схемы отпуска теплоты на электростанциях.

По окончании курса студенты должны уметь:

- выполнять простейшие теплотехнические измерения;
- рассчитывать термодинамические процессы в реальных и идеальных газах;
- решать задачи теплообмена в телах простейших форм;

-выполнять расчеты принципиальных схем электростанций и определять их основные технико-экономические показатели.

1.3. Перечень дисциплин, освоение которых необходимо при изучении данной дисциплины

Математика: дифференциальное и интегральное исчисления; дифференциальные уравнения; основы вычислительного эксперимента; уравнения математической физики.

Физика: молекулярная физика и термодинамика.

Химия: химическая термодинамика и кинетика: энергетика химических процессов, химическое и фазовое равновесие, скорость реакции и методы ее регулирования.

2. КРАТКИЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Очная форма обучения

Тема 1 Введение

Потребление энергии является обязательным условием существования человечества. Наличие доступной для потребления энергии всегда было необходимо для удовлетворения потребностей человека, увеличения продолжительности и улучшения условий его жизни.

История цивилизации – история изобретения все новых и новых методов преобразования энергии, освоения ее новых источников и, в конечном итоге, увеличения энергопотребления.

Под энергетикой понимают совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов.

Цель энергетики – обеспечение производства энергии путем преобразования первичной (природной) энергии (например, химической энергии топлива) во вторичную (например, в электрическую или тепловую энергии).

В традиционной энергетике в мировом масштабе в 2000 году преобладала теплоэнергетика: на базе нефти вырабатывалось 39% электроэнергии, угля – 27%, газа – 24%, т.е. 90% электроэнергии. На АЭС вырабатывалось 7%, а на ГЭС - всего 3%. Однако при этом надо иметь в виду существенные региональные отличия, вызванные, в первую очередь наличием соответствующих ресурсов. Например, энергетика таких стран, как Польша, ЮАР, практически целиком основана на использовании угля, а Нидерландов – газа. Очень велика доля теплоэнергетики в Китае, Австралии, Мексике.

В ряде стран преобладает гидроэнергетика. В Норвегии и Бразилии вся выработка электроэнергии приходится на ГЭС. Можно привести список из нескольких десятков стран, где доля выработки ГЭС превышает 70%.

По доле АЭС в выработке электроэнергии первенствует Франция (около 80%). Преобладает она в Бельгии, республике Корея и некоторых других странах.

В современном мире энергетика является основой развития базовых отраслей промышленности, определяющих прогресс общественного производства.

Электроэнергетика нашей страны характеризуется высоким уровнем концентрации производства электрической и тепловой энергии. Более 45 % мощности электростанций России сконцентрировано на электростанциях единичной мощностью 2000 МВт и выше. Крупнейшие агрегаты, работающие на ТЭС, имеют единичную мощность 1200 МВт, на АЭС — 1000 МВт, на ГЭС — 640 МВт.

В России более 90 % существующего потенциала электроэнергетики объединено в Единую энергетическую систему (ЕЭС) России, которая охватывает всю обжитую территорию страны от западных границ до Дальнего Востока и является одним из крупнейших в мире централизованно управляемых энергообъединений.

Электроэнергетика (в широком смысле слова) в ближайшие десятилетия сохранит свою роль мощного стимула социально-экономического развития России.

Стратегически основным средством ее благотворного влияния на жизнь людей по-прежнему будет внедрение во все сферы человеческой деятельности (электрификация), причем во все большей мере это будут высокие (прежде всего информационные) технологии, использующие особые физические свойства и высокую ценность (плотность потока энергии и управляемость) этой формы энергии.

Из большого разнообразия ресурсов, встречающихся в природе выделяют основные, используемые в больших количествах для практических нужд.

К основным энергоресурсам относят энергию рек, водопадов; различные органические топлива — уголь, нефть, газ; ядерное топливо — тяжелые элементы урана и тория, а в перспективе — легкие элементы. Энергоресурсы подразделяют на возобновляемые и невозобновляемые. К первым относятся те, которые природа непрерывно восстанавливает (вода, ветер и т.д.), а ко вторым — ранее накопленные в природе, но в новых геологических условиях практически не образующиеся (уголь, нефть, газ).

Известно, что электрическая энергия считается основой современной цивилизации. Можно без преувеличения сказать, что без электрической энергии невозможна нормальная жизнь современного общества. Электрическая энергия широко используется в промышленности для приведения в действие самых различных механизмов и непосредственно в технологических процессах, на транспорте, в быту. Работа современных средств связи — телеграфа, телефона, радио, телевидения — основана на применении электрической энергии. Без нее невозможно было бы развитие кибернетики, вычислительной техники, космической техники и т.п.

Тема 2

Основные понятия термодинамики. Первый закон термодинамики

Предмет и метод термодинамики. Термодинамическая система и окружающая среда. Параметры состояния. Термодинамический процесс. Равновесные и неравновесные состояния и процессы. Термодинамическое равновесие. Идеальный газ. Основные законы идеального газа (Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Авогадро). Термическое уравнение состояния идеального газа. Универсальная газовая постоянная, удельные газовые постоянные. Универсальное уравнение состояния идеального газа. Теплота и работа как способы передачи энергии. Уравнение работы газа при расширении. Внутренняя энергия. Обратимые и необратимые процессы. Аналитические выражения первого закона термодинамики. Уравнение первого закона для стационарного потока массы

Для самостоятельного изучения.

1. Краткий исторический очерк развития термодинамики.
2. Эквивалентность теплоты и работы. Опыты Румфорда и Джоуля

Вопросы для самопроверки.

1. Кто являются основоположниками первого, второго и третьего закона термодинамики?
2. Какие ученые внесли наибольший вклад в развитие термодинамики?
3. Как в ходе развития науки менялись представления о теплоте?
4. В чем заключались эксперименты Румфорда?
5. В чем заключались опыты Джоуля?
6. Какие единицы применяют для измерения количества тепла и работы?

Тема 3.

Термодинамические процессы идеальных газов

Порядок исследования термодинамических процессов. Изохорный процесс. Изобарный процесс. Изотермический процесс. Адиабатный процесс. Политропные процессы.

Для самостоятельного изучения.

1. Изменение теплоемкости рабочего тела в политропном процессе в зависимости от показателя политропы.
2. Способы определения показателя политропы.

Вопросы для самопроверки.

1. Как изменяется теплоемкость рабочего тела в политропном процессе в зависимости от показателя политропы?
2. Поясните способы определения показателя политропы.

Тема 4.

Анализ циклов. Второй закон термодинамики

Прямой и обратный тепловые циклы; КПД цикла теплового двигателя; холодильный коэффициент; цикл Карно; математическое выражение второго закона термодинамики; средние температуры отвода и подвода теплоты; регенеративный цикл Карно; анализ необратимых процессов; формулировки второго закона термодинамики. Основные положения второго закона. Термический коэффициент полезного действия. Ts -диаграмма и ее свойства. Термодинамические циклы в Ts -диаграмме. Свойства обратимых и необратимых циклов. Изменение энтропии в них. Принцип возрастания энтропии и физический смысл второго закона термодинамики. Максимальная работа. Эксергия. Потеря эксергии в необратимых процессах.

Энтропия и термодинамическая вероятность.

Характеристические функции. Химический потенциал. Общие условия термодинамического равновесия. Основные дифференциальные уравнения термодинамики.

Для самостоятельного изучения.

Теорема Карно.

Вопросы для самопроверки.

Сформулируйте и докажите теорему Карно.

Тема 5.

Реальные газы. Влажный воздух. Водяной пар

Термодинамические свойства реальных газов. Фазовые переходы. Точки фазового перехода. Pv -диаграмма. Фактор сжимаемости и zP -диаграмма. Фазовая pT -диаграмма. Условия фазового равновесия. Правило фаз Гиббса. Уравнение Менделеева-Клаузиуса.

Уравнения состояния реальных газов (уравнение Майера-Боголюбова, уравнение Ван-дер-Ваальса, уравнение Вукаловича-Новикова). Уравнение Ван-дер-Ваальса и его анализ. Принцип соответственных состояний и подобие термодинамических свойств веществ.

Эффект Джоуля-Томпсона. Дросселирование реальных газов.

Основные определения и характеристики влажного воздуха; диаграмма влажного воздуха; процессы парообразования; таблицы и диаграммы для водяного пара; основные термодинамические процессы водяного пара.

P, v -диаграмма водяного пара. Удельный объем, энтальпия и энтропия воды, влажного, сухого насыщенного и перегретого пара. Сверхкритическая область состояния пара. Таблицы термодинамических свойств воды и водяного пара, других веществ. T, s -диаграмма и h, s -диаграмма для водяного пара.

Порядок расчета термодинамических процессов водяного пара. Изохорный, изобарный, изотермический и адиабатный процессы.

Истечение водяного пара. Дросселирование водяного пара.

Абсолютная и относительная влажность влажного воздуха. Влагосодержание. Температура точки росы. Расчет термодинамических свойств влажного воздуха. h, s -диаграмма влажного воздуха. Термодинамические процессы с влажным воздухом.

Для самостоятельного изучения.

Опыт Эндрюса.

Вопросы для самопроверки.

1. Какое вещество исследовал Эндрюс?
2. Какие зависимости давления, удельного объема и температуры им были установлены?

Тема 6.

Истечение и дросселирование газов и паров. Насосы, компрессоры, вентиляторы

Истечение из отверстия, истечение с потерями, дросселирование, процессы в компрессионных машинах. Основные уравнения процессов течения. Скорость звука. Истечение из суживающихся сопел. Максимальный расход и критическая скорость. Переход через скорость звука. Сопло Лавалля. Истечение с учетом необратимости. Коэффициенты скорости и расхода. Параметры полного адиабатного торможения.

Уравнение процесса дросселирования. Дросселирование идеального газа.

Типы компрессоров. Принцип действия поршневого и центробежного компрессора. Работа одноступенчатого компрессора. Теоретическая индикаторная диаграмма. Действительная индикаторная диаграмма. Процессы сжатия в реальном компрессоре. Относительный внутренний КПД компрессора. Многоступенчатый компрессор.

Для самостоятельного изучения.

1. Параметры полного адиабатного торможения.
2. Способы уменьшения объемного КПД компрессора.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое «температура адиабатного торможения»?
2. Как она определяется?
3. Где используется это понятие?
4. Как можно уменьшить объемный КПД компрессора?

5. Что такое коэффициент наполнения компрессора?

Тема 7.

Газовые циклы

Принцип действия и классификация двигателей внутреннего сгорания. Индикаторная диаграмма и цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания. Циклы с подводом тепла при постоянном объеме, при постоянном давлении и смешанным подводом тепла. КПД циклов и их термодинамический анализ.

Принципиальная схема газотурбинной установки. Цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении. Термический КПД идеального цикла. Действительный цикл и его КПД. Влияние необратимости процессов сжатия и расширения. Регенерация, многоступенчатое сжатие и ступенчатый подвод тепла в газотурбинной установке.

Для самостоятельного изучения.

Цикл газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном объеме.

Вопросы для самопроверки.

1. Приведите схему ГТУ с подводом теплоты при постоянном объеме, поясните принцип действия.
2. Как изображается данный цикл в p, v и T, s -диаграммах?
3. Как определяется и от чего зависит термический КПД цикла?

Тема 8.

Циклы паротурбинных установок

Цикл Карно на влажном паре. Принципиальная схема паротурбинной установки. Цикл Ренкина. Изображение цикла Ренкина в p, v - и T, s -диаграммах. Термический КПД цикла. Влияние начальных и конечных параметров пара на термический КПД цикла. Необратимое расширение пара в турбине. Тепловой и энергетический балансы паротурбинной установки.

Цикл и схема паротурбинной установки со вторичным перегревом пара. Изображение цикла в T, s - и h, s -диаграммах. КПД цикла. Регенеративный подогрев питательной воды. Термический КПД регенеративного цикла. Комбинированная выработка электроэнергии и тепла. Теплофикационные циклы.

Циклы атомных станций с водяным теплоносителем. Цикл насыщенного пара с промежуточной сепарацией и перегревом пара.

Для самостоятельного изучения.

1. Показатели, характеризующие экономичность цикла Ренкина.
2. Схема трехконтурной атомной электростанции.)

Вопросы для самопроверки.

1. Как определяется удельный расход пара?
2. Как определяется удельный расход теплоты?
3. Изобразите схему трехконтурной АЭС, назовите ее основные элементы.

Тема 9.

Теплопередача и теплопроводность

Основные понятия и определения, основной закон теплопроводности; дифференциальное уравнение теплопроводности; условия однозначности для процессов теплопроводности; теплопроводность при стационарном и нестационарном режиме; теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты; тепловая изоляция; интенсификация теплопередачи. Основной закон теплопроводности. Коэффициент теплопроводности. Перенос теплоты теплопроводностью при стационарном режиме.

Для самостоятельного изучения.

Теплопроводность жидкостей. Теплопроводность металлов.

Вопросы для самопроверки.

1. Как теплопроводность жидкостей зависит от температуры?
2. От чего зависит теплопроводность металлов?
3. Как теплопроводность металлов зависит от температуры?

Тема 10.

Конвективный теплообмен

Основные понятия и определения; основы теории подобия; теплоотдача при свободной конвекции; теплоотдача при вынужденном движении жидкости; теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества. Основной закон конвективного теплообмена. Коэффициент теплоотдачи. Режимы движения жидкости. Пограничный слой. Понятие о методе размерностей и теории подобия. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителя. Теплоотдача при естественной конвекции. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества.

Для самостоятельного изучения.

Теплообмен при пузырьковом и пленочном кипении.

Вопросы для самопроверки.

1. Как влияет поверхностное натяжение, давление насыщения, краевой угол θ , наличие оксидов на поверхности нагрева на коэффициент теплоотдачи?
2. От чего зависит интенсивность теплоотдачи при вынужденном течении кипящей жидкости в трубах?
3. Основные способы интенсификации теплоотдачи при пленочном течении.

Тема 11.

Лучистый теплообмен

Основные понятия и определения лучистого теплообмена. Основные законы теплового излучения (закон Планка, закон Вина, закон Стефана-Больцмана, закон Ламберта, закон Кирхгофа). Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде. Использование экранов для защиты от излучения. Перенос лучистой энергии в поглощающей и излучающей среде.

Для самостоятельного изучения.

Определение температуры излучающих тел.

Вопросы для самопроверки.

1. Что такое радиационная интегральная температура? Как она определяется?
2. Что такое цветовая температура? Как она определяется?

Тема 12.

Теплообменные аппараты

Общие сведения о теплообменниках; классификация теплообменников; расчет теплообменных аппаратов; сушильные установки.

Теплопередача в рекуперативных теплообменниках. Изменение температуры теплоносителей. Температурный напор. Определение коэффициента теплопередачи. Тепловая эффективность теплообменных аппаратов. Виды теплового расчета теплообменных аппаратов. Гидравлический расчет теплообменных аппаратов.

Для самостоятельного изучения.

Теплопередача в регенеративных теплообменниках.

Вопросы для самопроверки.

1. Из каких периодов состоит рабочий цикл регенератора?

2. Как определяется теплота, передаваемая в регенераторе?
3. В какой последовательности выполняется расчет регенератора?
4. Как определяется температура матрицы?
5. Как определяется температура теплоносителей?

Тема 13.

Горение топлива

Состав и основные характеристики твердого, жидкого и газообразного топлива. Теплота сгорания топлива. Условное топливо. Классификация топлива.

Общие сведения о расчете процессов горения разных видов топлива. Состав продуктов сгорания.

Органическим топливом называют горючие вещества, способные активно вступать в реакцию с кислородом и обладающие значительным удельным тепловыделением (на единицу массы или объема).

К энергетическим видам топлив относятся такие, которые экономически целесообразно использовать для получения больших количеств теплоты.

В качестве энергетических топлив электростанций наибольшее значение имеют: твердое – каменные и бурые угли и отходы их переработки, антрацит и полуантрацит; жидкое – мазут; газовое – природный газ. В меньшей мере используются торф и горючие сланцы, стабилизированная нефть и горючие газы промышленности (доменный, коксовый).

На атомных ЭС используется энергия распада радиоактивных ядер тяжелых металлов: урана (^{235}U) и плутония (^{239}Pu).

В составе топлива различают *внешний балласт*, состоящий из влаги и минеральной части, и *внутренний балласт*, входящий в исходное органическое вещество топлива. К нему относятся кислород и азот.

Горючими элементами топлива являются углерод, водород и сера. *Углерод* является основным горючим элементом топлива. Он имеет высокую теплоту сгорания (34,1 МДж/кг) и составляет большую часть рабочей массы топлива (50-75 % в твердых топливах и 83-85 % в мазутах). *Водород* имеет высокую теплоту сгорания (120,5 МДж/кг), но его количество в твердых топливах невелико ($H^P = 2-4\%$) и несколько больше в жидких (10-11 %). *Сера* имеет невысокую теплоту сгорания (9,3 МДж/кг) и содержится в топливах в малых количествах ($S^P = 0,3-4\%$), поэтому не представляет ценности как горючий элемент. Наличие окислов серы в продуктах сгорания увеличивает опасность коррозии металла поверхностей нагрева и при определенных концентрациях опасно для организмов и растительности, что требует принятия мер для их улавливания.

В отличие от твердого и жидкого топлива газовое топливо представляет собой механическую смесь горючих и негорючих газов. Природные газы преиму-

щественно (до 90-96 %) содержат метан CH_4 , в небольшом количестве (1-6 %) тяжелые углеводороды (этан C_2H_6 , пропан C_3H_8 , бутан C_4H_{10} и др.). Кроме того, природный газ содержит негорючие компоненты: немного азота N_2 (1-4 %) и двуокись углерода CO_2 (0,1-0,2 %).

Количество теплоты, выделяющейся при сгорании единицы массы или объема топлива, является его основной теплотехнической характеристикой. Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива. *Высшей теплотой сгорания Q_B* называют количество теплоты, которое выделяется при сгорании 1 кг твердого или жидкого и 1 м³ газового топлива при условии конденсации водяных паров и охлаждения всех продуктов сгорания до 0 °С. *Низшая теплота сгорания Q_H* отличается от высшей на теплоту испарения влаги топлива и влаги, образующейся при горении водорода.

$$Q_H = Q_B - 2,51 (9H + W). \quad (1)$$

В энергетических установках влага в продуктах сгорания остается в парообразном состоянии и теплота, затраченная на ее испарение, теряется. Чем больше влажность топлива, тем меньше Q_H .

Паровые котлы одинаковой производительности могут потреблять существенно разное количество топлива, так как его теплота сгорания у разных видов изменяется в широких пределах. Для сравнения экономичности работы электростанций и упрощения расчетов при сжигании различных видов топлива введено понятие *условного топлива*, имеющего теплоту сгорания $Q_H^{y.t.} = 29\,300$ кДж/кг = 7000 ккал/кг. Потребление разных видов топлива электростанциями может быть пересчитано в условное топливо по соотношению:

$$B_{y.t.} = B \frac{Q_H^p}{Q_{y.t.}}, \quad (2)$$

где $B^{y.t.}$, B – расход условного и натурального топлива соответственно.

Классификация топлива:

По агрегатному состоянию: твердое, жидкое, газообразное.

По способу получения:

– естественное (дрова, торф, уголь – каменный, бурый, полуантрацит, антрацит, сланцы; нефть; природный газ, попутный газ, шахтный газ);

– искусственное (древесный уголь, торфяной полукокс, каменноугольный кокс и полукокс, брикеты; бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, смола; коксовый газ, сжиженный нефтяной газ, полукоксовый газ, генераторный газ, доменный, ваграночный газ);

– топливные отходы.

Знание состава топлива и реакций окисления его горючих веществ позволяет рассчитать объем получающихся после сжигания топлива продуктов сгорания. В процессе эксплуатации осуществляют постоянный и периодический контроль за составом продуктов сгорания для оценки полноты выгорания топлива и определения плотности газового тракта котла.

Количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг (м³) топлива при условии безостановочного использования кислорода, называют теоретиче-

ски необходимым объемом воздуха V^0 . При полном сгорании топлива теоретический объем продуктов сгорания определяется:

$$V_G^0 = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O}^0 + V_{N_2}^0, \quad (3)$$

где V_{CO_2} , V_{SO_2} , $V_{H_2O}^0$, $V_{N_2}^0$ – объемы отдельных газов в продуктах сгорания, м³/кг или м³/м³.

В действительных условиях невозможно довести топливо до полного сгорания при теоретически необходимом объеме воздуха V^0 вследствие несовершенства перемешивания топлива с воздухом в большом топочном объеме за короткое время пребывания газов в нем (1-2 с). Поэтому для обеспечения достаточно полного сгорания топлива, удовлетворяющего экономическим показателям работы котлов, действительный объем воздуха всегда несколько больше теоретического. Отношение этих объемов называют *коэффициентом избытка воздуха* в продуктах сгорания $\alpha = \frac{V_B}{V^0}$.

Необходимый коэффициент избытка воздуха в топке α_T зависит от сорта топлива, способа его сжигания и конструкции топочного устройства.

Сжигание топлива с недостаточным для полного сгорания объемом воздуха ведет к потерям тепла и загрязнению воздушного бассейна окисью углерода и другими продуктами неполного сгорания. Увеличение же избытка воздуха сверх оптимального приводит к возрастанию потерь тепла с уходящими газами, может существенно снизить температуру в топке и обусловить этим неполное сгорание топлива. Поэтому большое значение имеет применение методов сжигания топлива и выбор конструкций горелок, форсунок и топок, обеспечивающих полноту сгорания топлива при минимальном избытке воздуха.

Сжигание с минимальным избытком воздуха особенно важно при работе на сернистом топливе во избежание окисления продукта сгорания серы – сернистого газа SO_2 в значительно более коррозионно-активный SO_3 . Поэтому для обеспечения оптимального процесса сгорания топлива необходимо контролировать избыток воздуха в топке α_T .

Подробно состав и основные характеристики твердого, жидкого и газообразного топлива, расчет процессов горения разных видов топлива и состав продуктов сгорания рассматриваются в курсах «Котельные установки и парогенераторы» и «Топливное хозяйство и золоудаление».

Тема 14.

Промышленные печи и топки

Общие сведения о промышленных печах; классификация промышленных печей; некоторые типы промышленных печей; энергетический (тепловой) баланс печи; области применения топливных и электрических печей; топочные устройства.

Вопросы для самопроверки.

1. Классификация промышленных печей

2. Топочные устройства, их назначение

Тема 15.

Котельные установки

Паровой котел – это устройство, имеющее систему поверхностей нагрева для получения пара из непрерывно поступающей в него питательной воды путем использования теплоты, выделяющейся при сгорании органического топлива. В современных паровых котлах организуется факельное сжигание топлива в камерной топке, представляющей собой призматическую вертикальную шахту. Факельный способ сжигания характеризуется непрерывным движением топлива вместе с воздухом и продуктами сгорания в топочной камере.

Топливо и необходимый для его сжигания воздух вводятся в топку котла через специальные устройства – горелки.

Топка в верхней части соединяется горизонтальным газоходом с призматической вертикальной шахтой (иногда с двумя), называемой по основному виду происходящего в ней теплообмена конвективной шахтой.

В топке, горизонтальном газоходе и конвективной шахте находятся поверхности нагрева, выполняемые в виде системы труб, в которых движется рабочая среда.

В зависимости от преимущественного способа передачи теплоты поверхностям нагрева их можно подразделить на следующие виды: радиационные – теплота передается в основном излучением; радиационно-конвективные – теплота передается излучением и конвекцией примерно в равных количествах; конвективные – теплота передается в основном конвекцией.

Поверхность нагрева, где вода подогревается до температуры насыщения, называется экономайзером; образование пара происходит в парообразующей (испарительной) поверхности нагрева, а его перегрев – в пароперегревателе.

Для непрерывного отвода теплоты и обеспечения приемлемого температурного режима металла поверхностей нагрева организуется непрерывное движение в них рабочей среды. При этом вода в экономайзере и пар в пароперегревателе проходят через них однократно. Движение рабочей среды через парообразующие (испарительные) поверхности нагрева может быть как однократным, так и многократным.

В первом случае котел называют прямоточным, а во втором – котлом с многократной циркуляцией.

Температура в топке, в зоне горения факела, достигает 1400-1600 °С. Стены топочной камеры выполняются из огнеупорного материала, наружная их часть покрывается тепловой изоляцией. Частично охладившиеся в топке продукты сгорания с температурой 900-1200 °С поступают в горизонтальный газоход котла, где омывают пароперегреватель, а затем направляются в конвективную шахту, в которой размещаются промежуточный пароперегреватель, водяной экономайзер и последняя по ходу газов поверхность нагрева – воздухоподогреватель, в котором воздух подогревается перед подачей его в топку котла. Продукты сгорания за последней поверхностью нагрева называют уходящими газами;

они имеют температуру 110-160 °С. Поскольку дальнейшая утилизация теплоты при такой низкой температуре нерентабельна, уходящие газы с помощью дымососа удаляются в дымовую трубу.

Большое значение для надежной работы котла имеет качество питательной воды.

Современные котлы электростанций работают с достаточно высоким коэффициентом полезного действия. Теплота, затрачиваемая на подогрев питательной воды, ее испарение и перегрев полученного пара, — это полезно использованная теплота Q_1 .

Основной потерей теплоты в котле является потеря с уходящими газами Q_2 . Кроме того, могут быть следующие потери: от химической неполноты сгорания Q_3 , обусловленные наличием в уходящих газах CO, H₂ и CH₄; с механическим недожогом топлива Q_4 , связанные с наличием в золе частичек несгоревшего углерода; в окружающую среду Q_5 через ограждающие котел и газоходы конструкции; с физической теплотой шлака Q_6 .

Выражая составляющие теплового баланса котла в долях количества теплоты, выделившейся при сгорании топлива Q , т.е. $q_1 = Q_1/Q$; $q_2 = Q_2/Q$ и т.д., получим коэффициент полезного действия котла:

$$\eta_K = q_1 = 1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (4)$$

Потеря теплоты с уходящими газами составляет 5-8 % и уменьшается с уменьшением избытка воздуха; меньшая цифра потерь соответствует горению практически без избытка воздуха, когда в топку подается лишь на 2-3 % больше воздуха, чем теоретически необходимо для горения.

Уменьшение избытка воздуха α_T может привести к неполному сгоранию, т.е. к возрастанию потерь с химическим и механическим недожогом, поэтому, принимая q_5 и q_6 постоянными, устанавливают такой избыток воздуха, при котором сумма потерь $q_2 + q_3 + q_4$ минимальная.

Оптимальные избытки воздуха поддерживаются с помощью электронных автоматических регуляторов процесса горения, изменяющих подачу топлива и воздуха при изменениях нагрузки котла и обеспечивающих при этом наиболее экономичный режим его работы. Коэффициент полезного действия современных котлов составляет 90-94 %.

Энергетические стационарные котлы, выпускаемые нашей промышленностью, маркируются следующим образом: Е — паровой котел с естественной циркуляцией без промежуточного перегрева пара; Еп — паровой котел с естественной циркуляцией с промежуточным перегревом пара; Пп — прямоточный паровой котел с промежуточным перегревом пара. За буквенным обозначением следуют цифры: первая — паропроизводительность (т/ч), вторая — давление пара (кгс/см²). Например, Пп-1600-255 означает: паровой котел с камерной топкой, с сухим шлакоудалением, паропроизводительностью 1600 т/ч, давление пара 255 кг/см².

В состав котельной установки входят:

топливный тракт — комплекс элементов, в котором осуществляется подача, дробление и размол твердого топлива, его транспортировка и подача в топочную камеру для сжигания. Топливный тракт включает дробильное оборудо-

вание, транспортеры, бункер дробленого топлива, углеразмольную мельницу и соединяющие ее с топочной камерой пылепроводы;

водопаровой тракт, представляющий собой систему последовательно включенных элементов оборудования, в которых движется питательная вода, пароводяная смесь и перегретый пар. Водопаровой тракт включает следующие элементы оборудования: экономайзер, топочные экраны и пароперегреватели;

воздушный тракт, представляющий собой комплекс оборудования для приемки атмосферного (холодного) воздуха, его подогрева, транспортировки и подачи в топочную камеру. Воздушный тракт включает короб холодного воздуха, воздухоподогреватель (воздушная сторона), короб горячего воздуха и горелочные устройства;

газовый тракт – комплекс элементов оборудования, по которому осуществляется движение продуктов сгорания до выхода в атмосферу; он начинается в топочной камере, проходит через пароперегреватель, экономайзер, воздухоподогреватель (газовая сторона), золоуловитель и заканчивается дымовой трубой.

Воздушный и газовый тракты, соединенные между собой последовательно (переход от одного к другому осуществляется в объеме топочной камеры), образуют *газовоздушный тракт*.

Тема 16.

Теплоснабжение

Тепловая энергия требуется для технологических процессов и силовых установок промышленности, для отопления и вентиляции производственных, жилых и общественных зданий, кондиционирования воздуха и бытовых нужд. Для производственных целей обычно требуется насыщенный пар давлением от 0,15 до 1,6 МПа. Однако, чтобы уменьшить потери при транспортировке и избежать необходимости непрерывного дренирования воды из коммуникаций, с электростанции пар отпускают несколько перегретым. На отопление, вентиляцию и бытовые нужды с теплоэлектроцентрали обычно горячая вода поступает с температурой от 70 до 150 °С в городские тепловые сети и от 70 до 180 °С – пригодные.

Тепловая нагрузка электростанции, определяемая расходом теплоты на производственные процессы и бытовые нужды (горячее водоснабжение), практически не зависит от наружной температуры воздуха. Однако летом эта нагрузка несколько меньше, чем зимой. В то же время промышленная и бытовая тепловые нагрузки резко изменяются в течение суток. Кроме того, среднесуточная нагрузка электростанции при использовании теплоты на бытовые нужды в конце недели и предпраздничные дни выше, чем в рабочие дни недели. Типичные графики изменения суточной тепловой нагрузки горячего водоснабжения жилого района показаны на рис. 4.

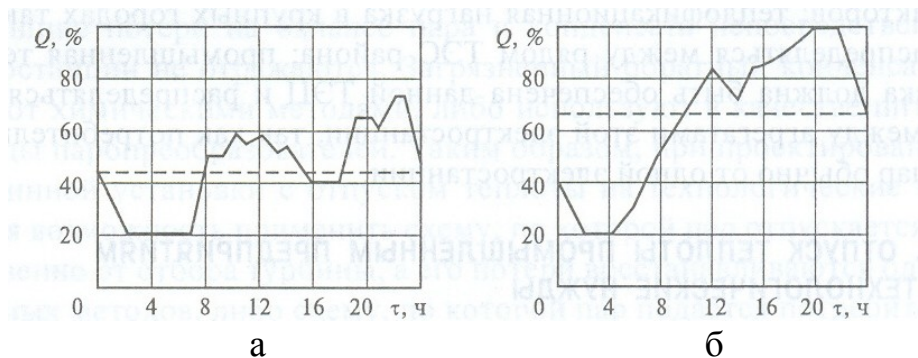


Рис. 4

Суточные графики изменения расхода теплоты на бытовые нужды района: а – в рабочие дни недели; б – по субботам; --- – среднесуточная нагрузка

Отопительная тепловая нагрузка, расход теплоты на вентиляцию и кондиционирование воздуха зависят от температуры наружного воздуха и имеют сезонный характер. Расход теплоты на отопление и вентиляцию наибольший зимой и полностью отсутствует в летние месяцы; на кондиционирование воздуха теплота расходуется только летом.

На рис. 5 приведен годовой график отопительной нагрузки, а на рис. 6 – суммарный график тепловой нагрузки по продолжительности.

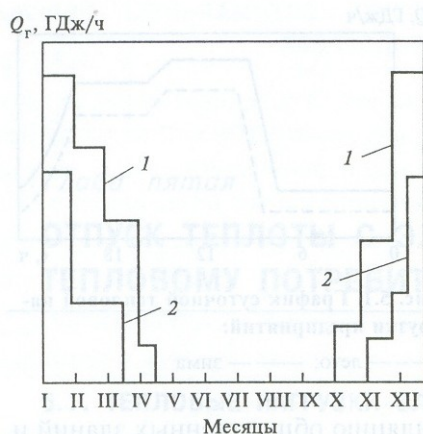


Рис. 5

Годовой график отопительной нагрузки
1,2 – максимальные и минимальные значения

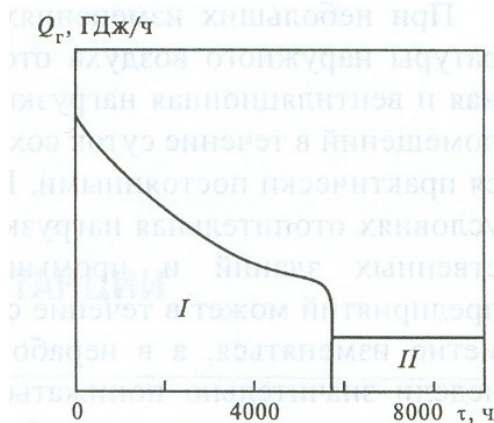


Рис. 6

Суммарный годовой график тепловой нагрузки по продолжительности
I – отопительный период; II – летний период

Отношение максимального количества теплоты, подводимой к сетевой воде паром из теплофикационных турбин, к общему количеству теплоты называют *коэффициентом теплофикации* $\alpha_{тэц}$. Чем выше $\alpha_{тэц}$, тем больше электроэнергии вырабатывается на тепловом потреблении. Однако при этом возрастает общая стоимость всех установок. В большинстве случаев оптимальные значения $\alpha_{тэц}$ находятся в пределах 0,5-0,65.

Основное назначение любой системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты заданных параметров.

В зависимости от размещения источника теплоты по отношению к потребителю системы теплоснабжения подразделяются на *децентрализованные* и *централизованные*.

В децентрализованных системах источник теплоты и теплоприемники потребителей совмещены в одном агрегате или размещены настолько близко, что передача теплоты от источника до теплоприемников может производиться без промежуточного звена – тепловой сети.

В системах централизованного теплоснабжения источник теплоты и теплоприемники потребителей размещены отдельно, часто на значительном расстоянии, поэтому передача теплоты от источника до потребителей производится по тепловым сетям.

Комплекс установок, предназначенных для подготовки, передачи и использования теплоносителя, составляет *систему централизованного теплоснабжения*.

Подготовка теплоносителя производится в специальных, так называемых теплоподготовительных установках на ТЭЦ, а также в городских, районных, квартальных или промышленных котельных. Транспортируется теплоноситель по тепловым сетям и используется в теплоприемниках потребителей.

Для передачи теплоты на большие расстояния применяются два теплоносителя: вода и водяной пар. Как правило, для удовлетворения сезонной нагрузки горячего водоснабжения в качестве теплоносителя используется вода, для промышленной технологической нагрузки – пар.

Параметрами теплоносителей называют температуру и давление. Вместо давления в практике эксплуатации широко пользуются другой единицей – напором.

Напор и давление связаны зависимостью

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g}, \quad (16)$$

где H – напор, м; p – давление, Па; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Вода как теплоноситель характеризуется различными температурами до системы теплопотребления (нагревательного прибора) и после системы теплопотребления.

В современных системах теплоснабжения применяют воду, имеющую такие значения температур: $t_1 = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($95\text{ }^{\circ}\text{C}$); $t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в системах отопления жилых и общественных зданий; $t_1 = 105\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ в системах централизованного теплоснабжения от котельной или ТЭЦ, а также в системах отопления промышленных зданий.

Температура воды в системах теплоснабжения должна соответствовать давлению, при котором не будет вскипания (например, вода при температуре $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ должна иметь давление не менее $0,4\text{ МПа}$).

Теплопроводы могут быть подземными и надземными.

Надземные теплопроводы обычно прокладывают по территориям промышленных предприятий и промышленных зон, не подлежащих застройке, при пересечении большого числа железнодорожных путей, т.е. везде, где либо не вполне эстетичный вид теплопроводов не играет большой роли, либо затрудняется доступ к ревизии и ремонту теплопроводов. Надземные теплопроводы долговечнее и лучше приспособлены к ремонтам.

В жилых районах из эстетических соображений используется *подземная* прокладка теплопроводов, которая бывает *бесканальной* и *канальной*.

Тема 17.

Водоподготовка и водный режим

Методы водоподготовки; коррекционные методы водного режима; вывод примесей из пароводяного тракта энергетической установки и методы получения чистого пара.

Вопросы для самопроверки.

1. Методы водоподготовки

2. Методы получения чистого пара

Тема 18.

Турбинные установки

Турбомашина (турбина) – является двигателем, в котором теплота рабочего тела – пара или газа – последовательно преобразуется в кинетическую энергию струи, а затем в механическую работу.

Вытекающий из сопла поток рабочего тела, обладающий значительной кинетической энергией, действует на лопатки с силой, которая зависит от формы их поверхности.

Турбины, в которых весь располагаемый теплоперепад преобразуется в кинетическую энергию потока в соплах, а в каналах между рабочими лопатками расширения не происходит (давление рабочего тела не меняется), называются *активными* или турбинами равного давления.

Реактивными называются турбины, у которых располагаемый теплоперепад преобразуется в кинетическую энергию потока не только в соплах, но и на рабочих лопатках.

В простейшей активной турбине рабочее тело поступает в сопло *1* (или группу сопел), разгоняется в нем до высокой скорости и направляется на рабочие лопатки *2* (рис. 3). Усилия, вызванные поворотом струи в каналах рабочих лопаток, вращают диск *3* и связанный с ним вал *4*. Диск с закрепленными на нем рабочими лопатками и валом называется *ротором*. Один ряд сопел и один диск с рабочими лопатками составляют *ступень*.

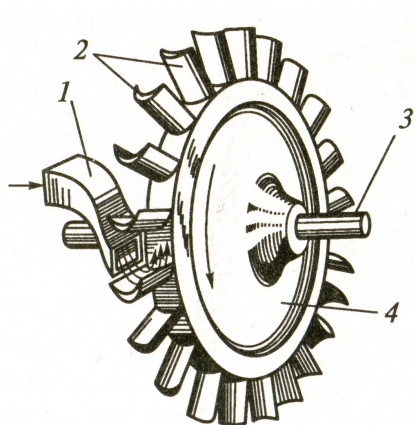


Рис. 3

Паровая турбина вместе с относящимися к ней регенеративными подогревателями, конденсатором, насосами, трубопроводами и арматурой образует *паротурбинную установку*.

Современная паровая турбина состоит из большого числа деталей, тщательно изготовленных и собранных в единый агрегат. Мощности современных энергетических турбоагрегатов постоянно повышаются, и в настоящее время основной прирост мощностей в энергосистемах происходит за счет ввода турбоагрегатов 300, 500 и 800 МВт. На Костромской ГРЭС сооружен головной агрегат мощностью 1200 МВт.

Увеличение мощности турбоагрегатов позволяет сооружать ТЭС большой мощности при одновременном удешевлении их строительства и эксплуатации, и снижении расходов топлива на выработанный киловатт-час. Наряду с экономичностью, современная турбина должна отвечать высоким требованиям безопасности, надежности и маневренности. Требование высокой маневренности предъявляется ко всему энергетическому оборудованию. Турбина должна допускать быстрый пуск, набор и изменение нагрузки, и останов.

Работа турбины как теплового двигателя характеризуется внутренней (индикаторной) мощностью, развиваемой лопатками, и эффективной (на валу) мощностью.

Внутренняя мощность N_i меньше мощности N_o , которую развивала бы идеальная турбина, на значение внутренних потерь (на трение и завихрения в каналах, от перетечек пара в зазорах помимо сопел и т.д.).

Внутренний относительный КПД учитывает внутренние потери турбины и определяется:

$$\eta_{oi} = \frac{N_i}{N_o}. \quad (5)$$

Эффективная мощность N_e меньше внутренней N_i на значение механических потерь (в подшипниках, на привод вспомогательных механизмов и т.д.). Механические потери оцениваются механическим КПД:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{N_e}{N_i}. \quad (6)$$

Для большинства современных турбин $\eta_{oi} = 0,7 - 0,88$; $\eta_{Mex} = 0,99 - 0,995$.

Согласно ГОСТ 3618-82 «Турбины паровые стационарные для привода турбогенераторов» турбины выпускаются мощностью от 2,5 до 1600 МВт на параметры свежего пара $p_0 = 3,4-23,5$ МПа и $t_0 = 435-565^\circ \text{C}$.

Каждая турбина обозначается шифром, состоящим из трех частей: первая из них буквенная, остальные – цифровые. Буквенная часть шифра характеризует тип турбины: К – конденсационная без регулируемых отборов; Т – с теплофикационным регулируемым отбором пара ($p = 0,07-0,24$ МПа); П – с производственным регулируемым отбором пара ($p \geq 0,3$ МПа); Р – с противодавлением.

Вторая (цифровая) часть шифра указывает номинальную мощность турбины (МВт). Третья часть шифра обозначает давление свежего пара. У турбин типов П и Р третья часть шифра представляет собой дробь, числитель которой указывает давление свежего пара, а знаменатель – давление отборного или противодавленческого пара.

Так, например, конденсационная турбина мощностью 50 000 кВт с начальным давлением 12,75 МПа (130 ат) обозначается К-50-130. Та же турбина, но с двумя регулируемыми отборами пара – производственным давлением 0,69 МПа (7 ат) и теплофикационным – обозначается ПТ-50-130/7.

Пар, выходящий из турбины, направляют для охлаждения и конденсации в специальное устройство, называемое *конденсатором*. Конденсатор представляет собой цилиндрический корпус, внутри которого имеется большое число латунных трубок. По трубкам протекает охлаждающая вода, поступающая в конденсатор обычно при температуре $10-15^\circ \text{C}$ и выходящая из него при температуре $20-25^\circ \text{C}$. Пар обтекает трубки сверху вниз, конденсируется и снизу удаляется. Давление в конденсаторе поддерживается в пределах 3-4 кПа.

Тема 19.

Тепловые электрические станции

Предприятие, предназначенное для производства электрической энергии, называют электростанцией. В обозначениях типов станций чаще всего содержатся два определения, первое из которых относится к первичной (преобразуемой) энергии (химической, ядерной, гидравлической) или типу основного двигателя на станции, а второе – ко вторичной (электрической) энергии.

Большая часть электроэнергии (как в России, так и в мировой энергетике) вырабатывается на тепловых, атомных и гидравлических электрических станциях.

Тепловая электрическая станция преобразует химическую энергию топлива (угля, нефти, газа) в электрическую энергию и теплоту. По виду отпускаемой энергии (энергетическому назначению) различают конденсационные электрические станции (КЭС), отпускающие энергию одного вида – электрическую; и теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), отпускающие потребителям электрическую и тепловую энергию с паром или горячей водой. Конденсационные электрические станции районного значения в нашей стране называются государственными

районными электростанциями (ГРЭС), например, Экибастузская, Райчихинская ГРЭС и др.

По типу основного двигателя для привода электрогенератора различают ТЭС с паровыми и газовыми турбинами (паротурбинные или газотурбинные электрические станции). В нашей стране наибольшее распространение получили паротурбинные станции.

Тепловые электрические станции в современном виде начали развиваться с 20-х годов XX века.

В 50-х годах прошлого столетия появились атомные электрические станции (АЭС), которые преобразуют энергию расщепления ядер атомов тяжелых элементов в электрическую энергию и теплоту. Атомные электростанции, отпускающие потребителям электрическую и тепловую энергию, называют атомными теплоэлектроцентралями (АТЭЦ). Так же как и ТЭС, АЭС являются паротурбинными станциями. Первая в мире атомная электростанция была построена в 1954 году в Советском Союзе.

Гидравлические электростанции (ГЭС) преобразуют механическую энергию водного потока в электрическую. Разновидностью ГЭС являются гидроаккумулирующие электрические станции (ГАЭС), потребляющие электроэнергию в периоды снижения электрических нагрузок (ночью) и вырабатывающие ее в периоды максимальных нагрузок; и приливные электростанции (ПЭС), использующие энергию приливов и отливов океанской воды.

Ведутся разработки электрических станций, использующих энергию воздушных потоков (ветровые электростанции), солнечного излучения (гелиоэлектрические или солнечные станции), тепловую энергию подземных термальных вод (геотермальные электростанции).

Состав электростанций различного типа по установленной мощности зависит от наличия и размещения по территории страны гидроэнергетических и теплоэнергетических ресурсов, их технико-экономических характеристик, включая затраты на транспортирование топлива, а также от технико-экономических показателей электростанций.

Конденсационные электростанции. На современных тепловых электростанциях большой мощности превращение теплоты в работу производится в циклах, использующих в качестве основного рабочего тела водяной пар высоких давлений и температуры. Водяной пар производится парогенераторами (паровыми котлами), в топках которых сжигаются различные виды органического топлива уголь, мазут, газ и др.

Термодинамический цикл преобразования теплоты в работу с помощью водяного пара был предложен в середине XIX в. инженером и физиком У. Ренкиным. Тепловая схема КЭС, работающей по циклу Ренкина, показана на рис. 1. В парогенераторе 1 за счет тепла сжигаемого топлива вода, нагнетаемая в парогенератор насосом, превращается в водяной пар, который затем поступает в турбину 2, вращающую электрогенератор 3. Тепловая энергия пара преобразуется в турбине в механическую работу, которая, в свою очередь, преобразуется в генераторе в электроэнергию. Из турбины отработавший пар поступает в конденса-

тор 4, где конденсируется (превращается в воду). Насос 5 нагнетает конденсат в парогенератор, замыкая таким образом цикл.

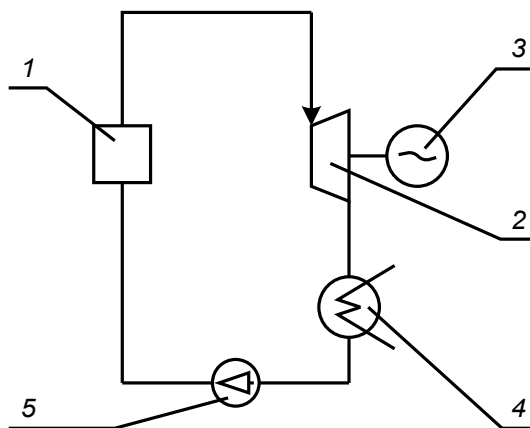


Рис. 1

Теплоэлектроцентрали предназначены для централизованного снабжения промышленных предприятий и городов электроэнергией и теплотой. Являясь, как и КЭС, тепловыми электростанциями, они отличаются от последних, использованием теплоты отработавшего в турбинах пара для нужд промышленного производства, а также для отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения. При такой комбинированной выработке электроэнергии и теплоты достигается значительная экономия топлива по сравнению с отдельным энергоснабжением, т.е. выработкой электроэнергии на КЭС и получением теплоты от местных котельных. Поэтому ТЭЦ получили широкое распространение в районах (городах) с большим потреблением теплоты и электроэнергии. В России в настоящее время на ТЭЦ производится около 25-30 % всей вырабатываемой электроэнергии.

Схема простейшей теплофикационной установки (с основными элементами паросиловой установки) показана на рис. 2. Цифрой 6 обозначен потребитель теплоты (например, система отопления).

Охлаждающая вода под действием насоса 7 циркулирует по замкнутому контуру, в который включен потребитель теплоты. Температура воды на выходе из конденсатора несколько ниже температуры конденсата t_H , но достаточно высока для обогрева помещений. Конденсат при температуре t_H забирается насосом 5 и после сжатия подается в котел 1. Охлаждающая вода нагревается за счет теплоты конденсирующегося пара и под напором, создаваемого насосом 7, поступает в отопительную систему 6. В ней нагретая вода отдает теплоту окружающей среде, обеспечивая необходимую температуру помещений. На выходе из отопительной системы охлажденная вода вновь поступает в конденсатор и в нем опять нагревается поступающим из турбины паром.

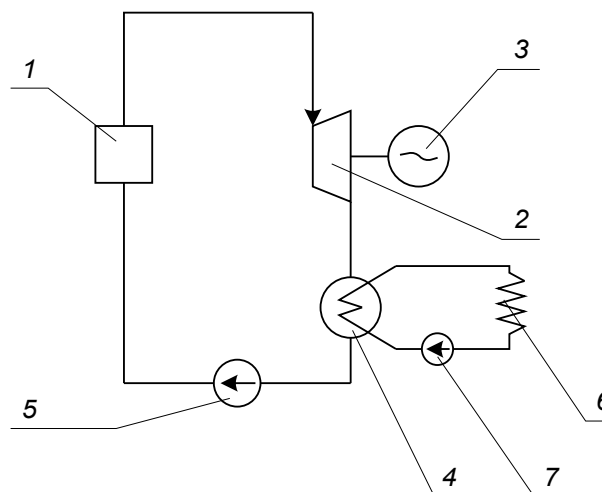


Рис. 2

Тема 20.

Ядерные энергетические установки

Типы ядерных реакторов; ядерное горючее; принципы работы ядерного энергетического реактора; типы ядерных реакторов; характеристики и конструкции ядерных реакторов; основные элементы.

Вопросы для самопроверки.

1. Типы ядерных реакторов
2. Основные элементы

Тема 21.

Гидроэнергоресурсы. Современные проблемы комплексного использования гидроресурсов (самостоятельная работа студентов)

Темы на самостоятельное изучение:

1. Мировые гидроэнергоресурсы и гидроэнергоресурсы России, располагаемые и используемые в настоящее время.
2. Перспективы и проблемы использования гидроресурсов.
3. Проблемы комплексного использования водных ресурсов между водопотребителями и водопользователями.
4. Эффективность комплексного использования гидроресурсов.
5. Каскадное использование водных ресурсов в гидроэнергетике.

Тема 22.

Гидроэнергетические установки. Схемы использования гидравлической энергии. Процесс преобразования гидравлической энергии в электрическую

Классификация гидротурбин; активные и реактивные гидротурбины; конструктивное выполнение гидротурбин: поворотно-лопастные, двухперовые,

диагональные, радиально-осевые, пропеллерные, ковшовые; схемы концентрации напора водного потока; плотинная и деривационная схемы; смешанные схемы; схемы ГАЭС; процесс преобразования гидравлической энергии в электрическую на различных типах гидрогенераторов; способы преобразования энергии движущегося потока воды в механическую энергию вращения; механизм превращения энергии потока в турбинах активного и реактивного типа; характеристики гидротурбин.

Тема 23.

Проектирование и эксплуатация гидроэлектростанций. Традиционная и малая гидроэнергетика

Основные принципы выбора типа гидроэлектростанций и ее мощности; основные сооружения ГЭС; влияние режима стока воды на выбор мощности ГЭС; регулирование речного стока в процессе эксплуатации.

Тема 24.

Возобновляемые источники энергии. Социально-экологические аспекты ресурсосберегающих технологий

Энергия ветра, волн, солнца, приливов, геотермальная энергия; ресурсы возобновляемой энергии; способы использования возобновляемой энергии и их эффективность; типы установок по использованию возобновляемой энергии; социально-экологические проблемы использования возобновляемой энергии и ресурсосбережения.

Заочная форма обучения

Тема 1.

Теоретические основы преобразования энергии в тепловых двигателях

Первый и второй законы термодинамики, свойства рабочего тела, циклы Карно и Ренкина, термодинамические процессы в ts , is , pv -диаграммах.

Тема 2.

Типы ТЭС и АЭС

Типы ТЭС и АЭС, их классификация. Технологические схемы ТЭЦ, КЭС и АЭС. Назначение и краткая характеристика основного технологического оборудования.

Тема 3

Паровые котлы, их схемы.

Энергетическое топливо и основные его характеристики, системы и оборудование по транспортировке топлива и подготовке его к сжиганию, технологические схемы и конструкции паровых котлов, тепловой баланс и КПД парового котла, вспомогательное оборудование котельной установки.

Тема 4.

Паровые турбины

Принцип работы паровых турбин, преобразование энергии в рабочих ступенях турбин, КПД турбин, часовой и удельный расход пара, Конденсаторы паровых турбин, эжекторные установки, их типы и назначение.

Тема 5.

Энергетические балансы ТЭС и АЭС

Показатели общей и тепловой экономичности ТЭС и АЭС, Влияние начальных и конечных параметров рабочего тела на тепловую экономичность, регенеративный подогрев питательной воды, промежуточный перегрев пара, энергетический баланс энергоблока.

Тема 6.

Тепловые схемы ТЭС и АЭС

Принципиальные тепловые схемы ТЭС и АЭС, деаэроционно-питательная установка, регенеративные подогреватели, системы и оборудование по отпуску теплоты от ТЭЦ, методика расчета тепловых схем ТЭС и АЭС.

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

3.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий

Практические занятия предусматривают решение задач по темам дисциплины. В начале практического занятия следует вспомнить необходимые для решения задач теоретические сведения (работа с аудиторией). Далее разбираются несколько (три, четыре – в зависимости от объема) типовых задач. Приводится (если это необходимо) алгоритм решения типовых задач. Разбираются примеры типовых ошибок. Далее для решения предлагаются более сложные задачи (одна, две), требующие креативного подхода.

Выдается домашнее расчетное задание (если оно предусмотрено по данной теме), анализируется выполнение предыдущего домашнего задания, разбираются типовые ошибки.

3.2. Перечень тем практических занятий.

Очная форма обучения

1. Расчет работы расширения, работы располагаемой и теплоты в термодинамических процессах. (1 час)
2. Расчет термодинамических процессов в воде и водяном паре с помощью IS- диаграммы. (1 час)
3. Расчет процессов истечения газов и паров из сопл. (2 часа)
4. Расчет циклов ГТУ и ДВС. (2 часа)
5. Расчет цикла Ренкина. (2 часа)
6. Расчет процессов передачи теплоты теплопроводностью при различных граничных условиях. (2 часа)
7. Расчет коэффициента теплоотдачи при вынужденном движении жидкости и свободной конвекции. (2 часа)
8. Расчет коэффициента теплоотдачи при фазовых превращениях. (1 час).
9. Расчет теплообмена излучением. (1 час)
10. Расчет теплообменного аппарата. (1 час)
11. Расчет состава и энтальпий продуктов сгорания. (1 час)
12. Тепловой расчет схемы ТЭС. (2 часа)
13. Расчет ТЭП. (2 часа)

Заочная форма обучения

1. Расчет состава и энтальпий продуктов сгорания. (1 час)
2. Тепловой расчет схемы ТЭС. (1 час).
3. Расчет ТЭП. (1 час).
4. Расчет теплообменного аппарата. (1 час)

3.3. План проведения практического занятия

Тема занятия: Расчет циклов ГТУ и ДВС.

Цель: научить студентов определять параметры циклов газотурбинной установки.

Вопросы:

1. Какие установки называются газотурбинными?
2. Какое рабочее тело используется в газотурбинных установках?
3. Какие основные циклы ГТУ выделяют?
4. Что такое регенеративный подогрев?
5. Какие методы повышения КПД ГТУ применяют?

Теоретические сведения:

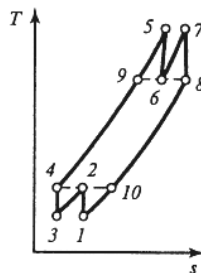
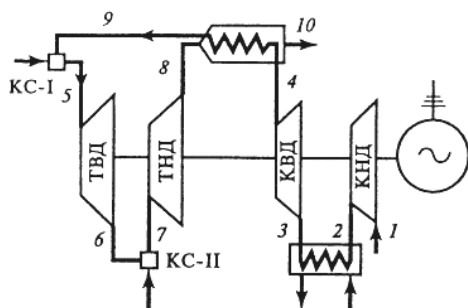
Решение задач

Указания.

Записать краткое условие задачи, перевести исходные данные в систему СИ.

При расчете циклов газотурбинных установок следует изобразить рассматриваемый цикл в T,s -диаграмме. Далее определяются температуры в характерных точках цикла и неизвестные (по условию) величины.

Задача



Рассчитайте теоретический цикл ГТУ с двухступенчатым

сжатием и двухступенчатым расширением и с предельной регенерацией. Параметры воздуха на входе в компрессор:

$p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, степень

повышения давления в обеих ступенях одинакова: $\beta_1 = \beta_2 = 2,4$, охлаждение воздуха после первого компрессора производится до $t_3 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура воздуха перед обеими турбинами одинакова и равна $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление воздуха после первой турбины $0,24 \text{ МПа}$, расход воздуха 250000 кг/ч . Определите параметры всех точек цикла, термический КПД и теоретическую мощность ГТУ.

Решение.

1. Определяем температуры в узловых точках цикла.
2. Определяем термический КПД.
3. Определяем теоретическую мощность двух турбин.
4. Определяем теоретическую мощность двух компрессоров.
5. Определяем теоретическую мощность ГТУ.

4. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

4.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа предусматривает подготовку студентами тем самостоятельных работ, выполнение домашних расчетных заданий по основным темам дисциплины, расчетно-графической работы. Темы и задания для самостоятельных и расчетных работ приведены ниже.

Самостоятельная работа предусматривает:

- подготовку студентов к аудиторным лекционным и практическим занятиям;
- выполнение домашних расчетных заданий по основным темам дисциплины;
- подготовку тем самостоятельных работ.

Для усвоения дисциплины, необходима систематическая самостоятельная работа, контроль которой осуществляется с помощью графика самостоятельной работы.

4.2. График самостоятельной работы студентов

№	Содержание	Объем в часах	Формы контроля
1	2	3	4
1	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции.

2	подготовка к лекционным занятиям выполнение домашнего задания № 1	1 1	Тестирование на лекции
3	подготовка к лекционным занятиям выполнение домашнего задания № 2	1 1	Тестирование на лекции
4	подготовка к лекционным занятиям	1	Тестирование на лекции.
5	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.
6	подготовка к лекционным занятиям выполнение домашнего задания № 4	1 1	Блиц-опрос на лекции.
7	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Тестирование на лекции.
8	подготовка к лекционным занятиям выполнение домашнего задания № 3	1 1	Контрольная работа № 1
9	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Блиц-опрос на лекции.
10	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Блиц-опрос на лекции
11	подготовка к лекционным и практическим занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
12	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Контрольная работа № 2
13	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
14	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
15	подготовка к лекционным и практическим занятиям	2	Блиц-опрос на лекции
16	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
17	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
18	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
19	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
20	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
21	Подготовка тем самостоятельной работы	4	Проверка самостоятельной работы
22	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
23	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции
24	подготовка к лекционным занятиям	1	Блиц-опрос на лекции

4.3. Методические указания по выполнению домашних заданий

Домашние задания выполняются в отдельной тетради или на листах формата А4 (каждое задание оформляется отдельно). Задания для расчета и исходные данные приведены ниже.

При выполнении домашнего задания следует записать краткое условие и произвести перевод исходных данных в систему СИ. Решение задач должно сопровождаться краткими пояснениями и подробными вычислениями. Необходимо привести соответствующую формулу, найти неизвестную величину (в буквенном выражении), затем подставить числовые значения и найти ответ. Для каждой найденной величины нужно указать единицу измерения (в системе СИ).

Если при решении задач какая-либо величина является справочной или определяется по диаграмме, следует привести источник, откуда она взята (с указанием автора, названия, года издания и страницы).

4.4. Комплекты заданий для домашних расчетных работ

Домашнее задание № 1 "Расчет газовой смеси"

1. **Определить:** а) газовую постоянную смеси;
б) кажущуюся молекулярную массу;
в) плотность и объем смеси при нормальных условиях.
2. **Произвести** перевод компонентов смеси в другой состав.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
N ₂	75		64		83		72		50		68		70		85		62	
O ₂	5		12		-		5		-		10		-		7		22	
CO ₂	14		17		3		15		16		19		8		3		12	
CO	6		-		9		8		30		-		13		5		-	
H ₂	-		7		5		-		4		3		6		-		4	

Для четных вариантов указан объемный состав;

Для нечетных – массовый.

Домашнее задание № 2 "Определение параметров газа в политропном и изобарном процессах"

Газ массой m имеет начальные параметры – давление p_1 и температуру t_1 . После политропного изменения состояния газа его объем стал V_2 , а давление p_2 .

Определить конечную температуру газа, показатель политропы n , количество теплоты, работу, изменение внутренней энергии, изменение энтальпии и энтропии.

Найти эти же величины, если изменение состояния газа происходит по изобаре ($p_1 = \text{const}$) до того же значения конечного объема V_2 .

Построить процессы в pV и Ts диаграммах.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
m	2	4	5	3	6	2	4	5	3	6	2	4	5	3
p ₁	0,12	0,15	0,14	0,12	0,2	0,25	0,12	0,15	0,14	0,22	0,2	0,25	0,18	0,12
t ₁	20	50	10	27	30	37	15	40	47	25	17	35	20	37
газ	O ₂	CO ₂	воз дух	N ₂	CO	CH ₄	He	CO	O ₂	He	воз дух	CH ₄	N ₂	CO ₂
V ₂	3,5	0,8	2,0	1,2	0,7	2,5	1,7	3,0	2,8	0,5	2,2	3,4	4,5	2,6
p ₂	1,2	1,45	1,3	1,25	1,4	1,35	1,15	1,5	1,36	1,14	1,28	1,52	1,8	1,7

Домашнее задание № 3

"Расчет цикла Карно"

(применительно к тепловому двигателю)

Рабочее тело – 1 кг сухого воздуха – совершает прямой цикл Карно. Предельные температуры рабочего тела в цикле: наибольшая t_1 , наименьшая t_2 . Предельные давления рабочего тела в цикле: наибольшее $P_{\max}$, наименьшее $P_{\min}$.

Определить:

- основные параметры состояния рабочего тела в характерных точках;
- количество подведенного и отведенного в цикле тепла;
- полезную работу, совершенную рабочим телом за цикл;
- термический КПД цикла;
- изменение энтропии в изотермических процессах цикла.

Построить цикл (в масштабе) в pV и Ts диаграммах.

вариант	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$t_1, ^\circ\text{C}$	317	250	327	330	270	320	250	303	300	277	320	260	300	270
$t_2, ^\circ\text{C}$	27	30	30	37	30	20	25	17	20	27	25	17	20	15
$P_{\max}, \text{МПа}$	3,0	2,8	2,6	2,5	4,2	3,6	2,0	3,2	3,5	2,4	4,0	2,2	2	3,8
$P_{\min}, \text{МПа}$	0,15	0,13	0,1	0,14	0,15	0,12	0,1	0,14	0,13	0,15	0,17	0,12	0,13	0,17

Домашнее задание № 4

"Расчет многоступенчатого компрессора"

Задание. Рассчитать многоступенчатый поршневой компрессор (без учета трения и вредного пространства), т.е. определить: количество ступеней компрессора, степень повышения давления в каждой ступени, количество теплоты, отведенной от воздуха в цилиндрах компрессора, в промежуточном и конечном холодильниках (при охлаждении до t_1), и мощность привода, если давление воздуха на входе в первую ступень компрессора $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$, температура $t_1 = 27 ^\circ\text{C}$.

Δt - допустимое повышение температуры воздуха в каждой ступени.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$\Delta t, ^\circ\text{C}$	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	205	200	195	190
n	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,32	1,31	1,3	1,29	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27
$P_k, \text{МПа}$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	15	16	17	18
$G, \text{кг/с}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	0,5	0,6	0,7	0,8

Указание. При расчете по допустимым Δt , как правило, получается число ступеней, не равное целому числу (n -р 1,3; 2,6; 3,5), поэтому нужно принимать целое число (2, 3, 4) и для Δt , соответствующего целому числу ступеней, проводить все расчеты,

Изобразить графики политропного сжатия газа в компрессоре в диаграмме PV и TS .

Расчетно-графическая работа на тему: «Расчет годовых показателей и выбор оборудования электростанции». В расчетно-графической работе необходимо:

- 1) в зависимости от региона рассчитать тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, кондиционирование;
- 2) построить график тепловых нагрузок по продолжительности;
- 3) выбрать основное и вспомогательное оборудование.

5. МАТЕРИАЛЫ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

5.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов

Важнейшей составляющей изучения дисциплины является контроль знаний студентов, в том числе тестовый контроль качества освоения профессиональной образовательной программы (проверка остаточных знаний). Приведенные ниже комплекты заданий позволяют оценить степень усвоения теоретического материала и практических навыков и умений по общей энергетике в рамках учебной программы для энергетических специальностей вузов.

Предусмотрены следующие виды контроля знаний студентов:

Входной контроль

Входной контроль по дисциплине представляет собой тестовые задания, позволяющие оценить знание понятий, определений и закономерностей, используемых в данной дисциплине и изучаемых в других курсах (физика, химия, математика), т.е. подготовленность студентов для освоения дисциплины.

Межсессионный контроль

Межсессионный контроль включает теоретические задания по изучаемым темам, выполнение проверочных работ, выполнение домашних расчетных заданий. Текущий контроль осуществляется систематически в течение семестра (см. график самостоятельной работы), по результатам контроля выставляется промежуточная аттестация (контрольные точки), экзаменационная оценка по дисциплине выставляется с учетом результатов межсессионного контроля.

Экзаменационный контроль

Итоговой формой контроля знаний студентов является экзамен. В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной системе. Опрос студентов осуществляется в письменно-устной форме. Экзаменационный билет включает два теоретических вопроса по изученному курсу и задачу (каждый вопрос и задача – по разным темам дисциплины). Для подготовки ответа на вопросы и решения задачи дается 40 мин.

Контроль остаточных знаний

Проверка качества освоения профессиональной образовательной программы осуществляется после изучения дисциплины в виде тестирования.

5.2. Критерии оценки знаний студентов

Входной контроль, межсессионный (теоретические задания) контроль и контроль остаточных знаний

Знания оцениваются по четырехбалльной шкале.

Отлично – не менее 85% правильно выполненных заданий; *хорошо* – не менее 75% правильно выполненных заданий; *удовлетворительно* – не менее 50% правильно выполненных заданий; *неудовлетворительно* – менее 50% правильно выполненных заданий.

Межсессионный контроль (проверочные работы)

Каждая проверочная работа включает две задачи. Практические умения решения задач оцениваются по четырехбалльной шкале.

Отлично – правильно решены обе задачи. *Хорошо* – одна задача решена правильно, при решении второй задачи допущены ошибки (задача не решена до конца, неправильно найдены некоторые величины) или решение обеих задач содержит ошибки не принципиального характера. *Удовлетворительно* – правильно решена одна задача или решение обеих задач содержит принципиальные ошибки. *Неудовлетворительно* – обе задачи решены неверно.

Экзаменационный контроль

В ответах студентов на экзамене знания и умения оцениваются по пятибалльной шкале.

Оценка «отлично» ставится в случае правильных и полных ответов на оба теоретических вопросы билета и правильного решения задачи.

Оценка «хорошо» ставится в случае:

- правильного, но неполного ответа на один из теоретических вопросов билета, требующего уточняющих дополнительных вопросов со стороны преподавателя или ответа, содержащего ошибки не принципиального характера, которые студент исправляет после замечаний (дополнительных вопросов) преподавателя; правильного решения задачи;

- правильных и полных ответа на оба теоретических вопроса билета; затруднений при решении задачи, с которыми студент справляется после помощи преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае:

- ответов, содержащего ошибки принципиального характера на теоретические вопросы билета; правильного решения задачи;

- неверного ответа (отсутствия ответа) на один из теоретических вопросов билета; решения задачи после незначительной помощи преподавателя;

- правильных и полных ответов на оба теоретических вопроса билета; неверного решения задачи (не справился с задачей после помощи преподавателя).

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае:

- неверных ответов (отсутствия ответов) на оба теоретических вопроса билета;

- неверного ответа (отсутствия ответов) на один из теоретических вопросов билета и неверного решения задачи.

5.3. Фонды тестовых контрольных заданий

Входной контроль

Идеальный газ – это ...

Термическое уравнение состояния идеального газа записывается ...

Первый закон термодинамики устанавливает зависимость между ...

Термический КПД цикла определяется ...

Второй закон термодинамики устанавливает зависимость между ...

Межсессионный контроль

К промежуточным формам контроля знаний относятся:

- блиц-опрос на лекциях по пройденному материалу;
- контрольные работы.

Каждая из контрольных работ состоит из двух задач. При выполнении к/р необходимо соблюдать следующие требования: полностью записать условие задачи; решая задачу, привести расчетные формулы с расшифровкой входящих в них обозначений и указанием единиц измерения физических величин в системе СИ; решение задачи дополнить краткими пояснениями и выводами; проиллюстрировать решение схемами, диаграммами и графиками.

Контрольная работа №1.

Задача 1. В цикле Карно для 4 кг воздуха между источниками теплоты с температурами $T_1=600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $T_2=300\text{ }^{\circ}\text{C}$ заданы величины наибольшего $P_1=6\text{ МПа}$ и наименьшего $P_2=0,1\text{ МПа}$ давлений. Определить параметры состояния воздуха в характерных точках цикла, количества подведенной и отведенной теплоты, изменение энтропии в процессах подвода и отвода теплоты, работу цикла и термический КПД. Значение газовой постоянной для воздуха принять равной 287 Дж/(кгК) , а величину показателя адиабаты – 1.4. По результатам расчета изобразить цикл Карно в $p\text{-}u$ и $T\text{-}s$ – диаграммах.

Задача 2. Определить термический КПД цикла Ренкина, удельные расходы пара и теплоты для двух случаев:

- 1) при обратимом расширении пара в турбине ($ds=0$);
- 2) при необратимом расширении ($ds>0$), если давление перегретого пара на входе в турбину $P_1=5\text{ МПа}$, температура его $T_1=800\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление в конденсаторе $P_2=0.004\text{ МПа}$ и внутренний относительный КПД $\eta_{oi}=0.8$.

По результатам изобразить цикл Ренкина в $p\text{-}u$ и $T\text{-}s$ -диаграммах.

Контрольная работа №2.

Задача 1. Определить величину требуемой поверхности, номер и количество секций водоводяного подогревателя по ОСТ 34-588-68 при заданной тепловой нагрузке $Q=2000\text{ кВт}$, температурах сетевой (греющей) воды до и после подогревателя $t_1=150$ и $t_2=75\text{ }^{\circ}\text{C}$, температурах нагреваемой воды до и после

подогревателя $T_1=10$ и $T_2=60$ °С. Для выбора номера секции подогревателя заданы в первом приближении скорости движения сетевой и нагреваемой воды $v'_{\text{MT}}=v'_T=1.4$ м/с. Сетевая вода подается в межтрубное пространство, а нагреваемая вода – в трубки подогревателя. Схема движения теплоносителей – противоток.

Задача 2. В системе кондиционирования наружный воздух (G_n) с температурой T_1 и относительной влажностью ϕ_1 подогревается в калорифере первой ступени до температуры T_2 , а затем в камере смешения объединяется с рециркуляционным воздухом (G_2), подаваемым из помещения. Полученная смесь образует массовый расход приточного воздуха (G_n), который адиабатно увлажняется в камере орошения до ϕ_4 , затем подогревается в калорифере второй ступени до температуры T_5 при ϕ_5 и с помощью приточного вентилятора подается в помещение.

Считая параметры приточного воздуха требуемыми параметрами воздуха в помещении, построить процессы обработки воздуха в СКВ, найти параметры воздуха в точках 1,2,3,4,5 с помощью Id-диаграммы и свести их в таблицу, а также определить тепловую нагрузку калориферов.

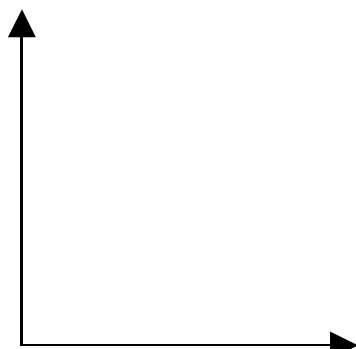
Задания для текущей проверки знаний

По теме № 2

1. Термодинамика изучает ...
 2. Закрытая термодинамическая система – такая, ...
 3. Основными параметрами состояния являются ..., единицы их измерения следующие ...
 4. Если известно V и $p_{\text{ВАК}}$, то $p_{\text{АБС}}$ можно определить ...
 5. Термодинамическое равновесие – ...
 6. Экстенсивные параметры состояния – такие ... (приведите пример)
 7. Идеальный газ – это ...
- Можно ли считать воздух, азот, водород идеальными газами? При каких условиях?
8. Термическое уравнение состояния идеального газа для 1 кг газа записывается

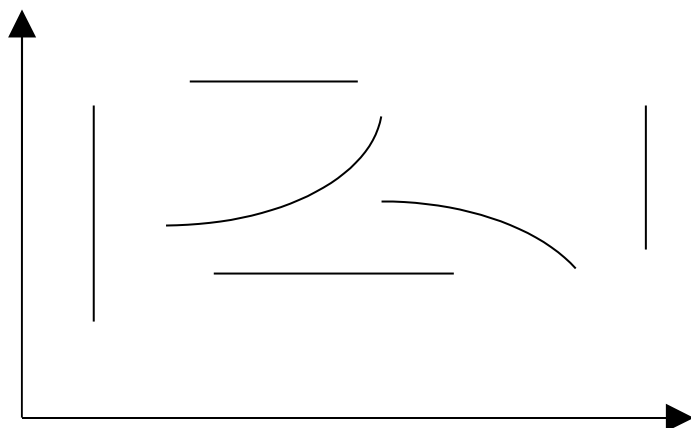
По теме № 3

1. Укажите способы передачи энергии от одного тела к другому.
2. Работа – это...,
Полная работа обозначается..., единица измерения...
Удельная работа обозначается..., единица измерения...
3. Укажите графически работу расширения, чему она равна?



4. Укажите процесс, в котором работа:

- отрицательна;
- равна нулю.



5. Понятие «внутренняя энергия» включает в себя ...
6. Какое утверждение является верным, что это означает?
 - а) внутренняя энергия является функцией процесса;
 - б) внутренняя энергия является функцией состояния.
7. Какое утверждение является верным, что это означает?
 - а) работа является аддитивным параметром;
 - б) работа является интенсивным параметром.
8. Какое утверждение является справедливым для реальных газов:
 $u=f_1(p,T)$; $u=f_2(v,T)$; $u=f_3(p,v)$; $u=f_4(T)$
9. Запишите 1 закон термодинамики:
 - а) для закрытой системы;
 - б) для потока.

По темам № 4

1. Запишите соотношения между параметрами для изобарного процесса.
2. Процесс, в котором изменение внутренней энергии равно нулю – ...
3. Изобразите изохорный процесс в PV- диаграмме.
4. II закон термодинамики записывается ...
5. Прямым циклом называется такой цикл, ...

По теме № 7

- 1.1. Цикл ДВС с подводом тепла при постоянном давлении Ts -координатах изображается...
- 1.2. Укажите, в каких процессах осуществляется подвод и отвод теплоты.
- 1.3. Процессы 1-2 и 4-1 – это процессы ...
- 1.4. Укажите теплоту, полезно используемую в цикле.
- 1.5. Как определяется термический КПД цикла?
2. Как определяется количество отведенного тепла в цикле Отто?
3. Укажите основные характеристики цикла ДВС со смещенным подводом тепла.

Экзаменационный контроль

Вопросы к экзамену

1. Термодинамические системы. Равновесное и неравновесное состояние системы. Параметры состояния. Уравнения состояния.
2. Смеси идеальных газов. Способы задания смеси. Закон Дальтона. Газовая постоянная смеси.
3. Работа проталкивания и работа изменения давления. Работа изменения объема и теплота. Процессы обратимые и необратимые.
4. Первый закон термодинамики. Математическая формулировка первого закона термодинамики для потока.
5. Основные термодинамические процессы изохорный, изобарный, изотермический, адиабатный, политропный).
6. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
7. Влажный воздух. Диаграмма влажного воздуха.
8. Водяной пар. Процесс парообразования. i - s диаграмма водяного пара. Основные термодинамические процессы водяного пара.
9. Процессы истечения газов и паров. Процесс адиабатного дросселирования.
10. Насосы, компрессоры и вентиляторы. Классификация и принцип действия, их мощность и внутренний относительный КПД.
11. Второй закон термодинамики. Прямые и обратные циклы. Цикл Карно.
12. Циклы двигателей внутреннего сгорания (Отто, Дизеля, Тринклера).
13. Циклы газотурбинных установок.
14. Паросиловые установки и их циклы. Цикл Ренкина.
15. Виды передачи теплоты. температурное поле, градиент температуры, плотность теплового потока, дифференциальное уравнение переноса энергии.
16. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях первого рода.
17. Теплопроводность при стационарном режиме и граничных условиях третьего рода.
18. Теплопроводность при нестационарном режиме.
19. Конвективный теплообмен. Основы теории подобия.
20. Теплоотдача при свободной конвекции.

21. Теплоотдача при вынужденной конвекции.
22. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества.
23. Лучистый теплообмен.
24. Теплообменные аппараты.
25. Горение топлива.
26. Котельные установки. Общие сведения, схемы, основные теплопередающие элементы котла.
27. Котельные установки. Компонировка, конструкции и вспомогательное оборудование. Тепловой баланс и КПД парового котла.
28. Теплоснабжение. Общие сведения, теплоносители, тепловое потребление, тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию, кондиционирование и их расчет.
29. Теплоснабжение. Тепловые схемы источников теплоснабжения, системы теплоснабжения, схемы присоединения тепловых потребителей к теплосети, тепловые сети.
30. Тепловые электрические станции. Типы электростанций и энергоустановок, область их применения и тепловые схемы ТЭС.
31. Тепловые электрические станции. Назначение и характеристика основного технологического оборудования. Техничко-экономические показатели.
32. Ядерные энергетические установки
33. Турбинные установки. Устройство, принцип действия, область применения и КПД.
34. Турбинные установки. Конденсационные и воздухоотсасывающие устройства паровых турбин, система водоснабжения и предельная мощность турбины.
35. Гидроэнергоресурсы.
36. Гидроэнергетические установки.
37. Проектирование и эксплуатация ГЭС.
38. Возобновляемые источники энергии.
39. Водоподготовка и водный режим.
40. Социально-экологические аспекты ресурсосберегающих технологий.

Контроль остаточных знаний

Тестовые задания для проверки остаточных знаний

Вариант 1

1. Термодинамическая система, которая обменивается с окружающей средой энергией и веществом, называется:
 - а) открытой;
 - б) закрытой;
 - в) замкнутой.
2. Если известны манометрическое и атмосферное давления, то абсолютное давление можно определить:
 - а) $P_{абс} = P_{атм} - P_{ман}$;

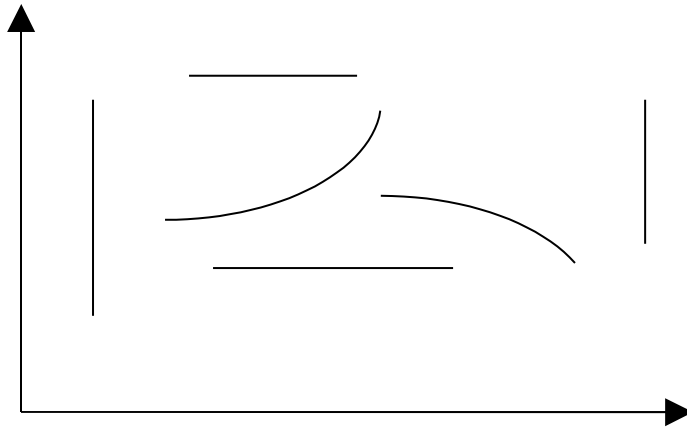
- б) $p_{абс} = p_{атм} + p_{ман}$;
 в) $p_{абс} = p_{ман} - p_{атм}$.

3. Какое утверждение является верным, что это означает?

- а) работа является функцией процесса;
 б) работа является функцией состояния.

4. Укажите процесс, в котором работа:

- отрицательна;
- равна нулю.



5. В изобарном процессе и при постоянной теплоемкости количество теплоты определяется:

- а) $q_V = c_V(t_2 - t_1)$;
 б) $q_V = c_n(t_2 - t_1)$;
 в) $q_V = c_p(t_2 - t_1)$.

6. Первый закон термодинамики для адиабатного процесса записывается:

- а) $Q = \Delta U + L$;
 б) $Q = L$;
 в) $Q = \Delta U + L$;
 г) $\Delta U = -L$.

7. В цикле теплового двигателя к рабочему телу подводится теплота, равная 350 кДж, отводимое тепло 170 кДж. Термический КПД данного цикла равен:

- а) 48,7 %;
 б) 51,4 %;
 в) 94,4 %.

8. При сжатии газа в компрессоре при одинаковом начальном и конечном давлениях наименьшая работа затрачивается:

- а) при осуществлении адиабатного процесса;
 б) при осуществлении изотермического процесса;
 в) при осуществлении политропного процесса с $n > k$;
 г) при осуществлении адиабатного процесса $n < k$;

9. На рисунке изображен цикл:

- а) газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении;
- б) двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при постоянном давлении;
- в) двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при постоянном объеме;
- г) газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном объеме;
- д) двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом тепла.

Укажите, в каких процессах осуществляется адиабатное расширение рабочего тела и отвод тепла.

10. При истечении газа через сужающееся сопло возможны следующие режимы:

- а) дозвуковой;
- б) звуковой;
- в) сверхзвуковой.

11. Теплопроводность возможна только:

- а) в твердых телах
- б) в жидкостях
- в) в газах

12. Верно ли, что градиент температуры и вектор плотности теплового потока направлены в противоположные стороны?

- а) да;
- б) нет;
- в) зависит от величины теплового потока.

13. Теплообмен между твердой поверхностью и жидкостью – это:

- а) теплоотдача;
- б) теплопроводность;
- в) теплопередача.

14. Интенсивность переноса теплоты от поверхности твердого тела к обтекающей его жидкости зависит от:

- а) физических свойств жидкости;
- б) физических свойств твердого тела;
- в) температуры жидкости;
- г) температуры твердого тела;
- д) разности температур твердого тела и жидкости;
- е) скорости движения жидкости;

15. Динамический пограничный слой – это...

16. Существуют такие режимы движения жидкостей и газов:

Число Рейнольдса является определяющим при:

- а) свободной конвекции;
- б) вынужденной конвекции.

17. Может ли собственное излучение тела быть больше поглощенного этим телом излучения?

18. Может ли серое тело поглощать больше энергии, чем черное тело таких же размеров и в такой же окружающей среде, если температуры серого и черного тел одинаковы?

19. Из закона Кирхгофа следует, что если тело обладает малым коэффициентом поглощения, то оно обладает:

- а) малым коэффициентом излучения;
- б) большим коэффициентом излучения;
- в) малым коэффициентом отражения;
- г) большим коэффициентом отражения.

20. Теплообменные аппараты, в которых одна и та же поверхность попеременно омывается то одним, то другим теплоносителем относятся к:

- а) рекуперативным;
- б) барботажным;
- в) рекуперативным;
- г) смешительным.

21. Задачей поверочного теплового расчета теплообменных аппаратов является:

- а) определение температур теплоносителей на выходе из теплообменника;
- б) определение коэффициента теплопередачи;
- в) определение площади поверхности и длины труб;
- г) определение количества передаваемого тепла.

Вариант 2

1. Термодинамическая система, которая не обменивается с окружающей средой веществом, называется:

- открытой;
- закрытой;
- замкнутой.

2. Если известны вакууметрическое и атмосферное давления, то абсолютное давление можно определить:

- а) $P_{абс} = P_{вак} - P_{атм}$;
- б) $P_{абс} = P_{атм} - P_{вак}$;
- в) $P_{абс} = P_{вак} + P_{атм}$.

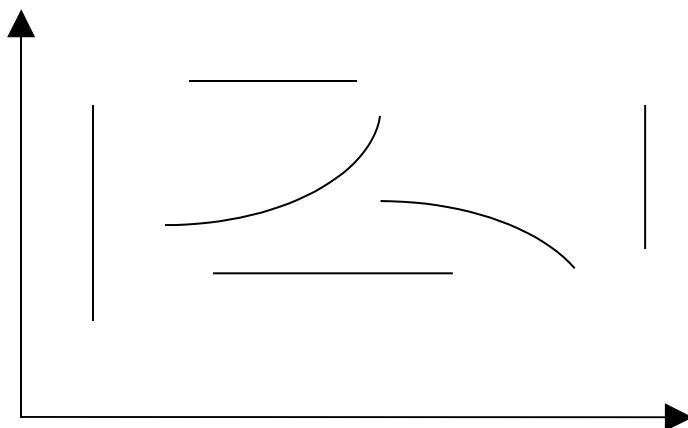
3. Какое утверждение является верным, что это означает?

- а) внутренняя энергия является функцией процесса;

б) внутренняя энергия является функцией состояния.

4. Укажите процесс, в котором работа:

- положительна;
- равна нулю.



5. В изохорном процессе и при постоянной теплоемкости количество теплоты определяется:

- а) $q_V = c_V(t_2 - t_1)$;
- б) $q_V = c_n(t_2 - t_1)$;
- в) $q_V = c_p(t_2 - t_1)$.

6. Первый закон термодинамики для изотермического процесса записывается:

- а) $Q = \Delta U + L$;
- б) $Q = L$;
- в) $Q = \Delta U + L$;
- г) $\Delta U = -L$.

7. В цикле теплового двигателя рабочим телом совершается работа, равная 250 кДж, термический КПД – 42 %. Количество теплоты, отведенное в цикле:

- а) 595 кДж;
- б) 105 кДж;
- в) 345 кДж.

8. Многоступенчатое сжатие в компрессоре осуществляют с целью:

- а) уменьшения общей работы, затрачиваемой на сжатие;
- б) повышения конечной температуры сжатия;
- в) понижения конечной температуры сжатия;
- г) уменьшения габаритов компрессора.

9. На рисунке изображен цикл:

- а) газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном давлении;
- б) двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при постоянном давлении;
- в) двигателя внутреннего сгорания с подводом тепла при постоянном объеме;
- г) газотурбинной установки с подводом тепла при постоянном объеме;

д) двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом тепла.

Укажите, в каких процессах осуществляется адиабатное сжатие рабочего тела и отвод тепла.

10. При истечении газа через сопло режим истечения зависит от:

- а) формы сопла;
- б) размеров сопла;
- в) свойств газа;
- г) начальных параметров газа;
- д) скорости истечения;
- е) атомности газа;
- ж) конечных параметров;
- з) конечного давления.

11. Коэффициент теплопроводности зависит:

- а) от температуры;
- б) от геометрических размеров;
- в) от материала;
- г) от давления;
- д) от величины теплового потока.

12. Какое утверждение является справедливыми:

- а) $\text{grad } t \perp$ изотерме;
- б) $\text{grad } t \parallel$ изотерме?

13. Теплообмен между жидкими телами через разделяющую их стенку – это:

- а) теплоотдача;
- б) теплопроводность;
- в) теплопередача.

14. Существуют такие режимы движения жидкостей и газов:

Число Грасгофа является определяющим при:

- а) свободной конвекции;
- б) вынужденной конвекции.

15. Тепловой пограничный слой – это...

16. При увеличении толщины пограничного слоя коэффициент теплоотдачи:

- а) увеличивается;
- б) уменьшается;
- в) не изменяется;
- г) изменение коэффициента теплоотдачи зависит от режима движения.

17. Может ли собственное излучение тела быть меньше отраженного этим телом излучения?

18. Может ли серое тело излучать больше энергии, чем черное тело таких же размеров и в такой же окружающей среде, если температуры серого и черного тел одинаковы?

19. Из закона Вина следует, что при увеличении температуры тела:

- а) максимум интенсивности смещается в сторону коротких волн;
- б) максимум интенсивности смещается в сторону длинных волн;
- в) излучение носит дискретный характер.

20. Теплообменные аппараты, в которых одна сторона поверхности все время омывается горячим теплоносителем, а другая – холодным, относятся к:

- а) рекуперативным;
- б) барботажным;
- в) рекуперативным;
- г) смешительным.

21. Задачей конструкторского теплового расчета теплообменных аппаратов является

- а) определение температур теплоносителей на выходе из теплообменника;
- б) определение коэффициента теплопередачи;
- в) определение площади поверхности и длины труб;
- г) определение количества передаваемого тепла.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Александров А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок. М: Издательство МЭИ, 2004.
2. Теплоэнергетика и теплотехника. Кн. 1. Общие вопросы. /Под. общей ред. Клименко А.В. и Зорина В.М. М: Издательство МЭИ, 2000.
3. Сборник задач по технической термодинамике. Андрианова Т.Н. и др. – 4-е изд. – М: Издательство МЭИ, 2000.
4. Стерман Л.С., Ладыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции.- М.: Энергоатомиздат, 2000.
5. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М: Издательство МЭИ, 2001.

.Дополнительная литература

1. Луканин В.Н., Шатров Н.Г., Канфер Г.М. Теплотехника: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2000.
2. Куджинов В.А. Техническая термодинамика: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2000.

Перечень методических материалов, используемых в учебном процессе.

1. Блейхман А.С., Фатнева Ю.В. Расчет элементов тепловой схемы ТЭС: учебно-методическое пособие. – Благовещенск: изд. АмГУ, 2002.
2. Термодинамические свойства и процессы идеальных газов: Методические указания. – Благовещенск, 1990.
3. Hs-диаграмма водяного пара.

Учебные пособия, методические указания и другие методические материалы

- 1.. Левшаков А.М., Блейхман А.С., Яшин А.И. Термодинамические процессы идеальных газов. Благовещенск, 1999.

Содержание

Аннотация	3
1. Цели и задачи дисциплины, ее связь с другими курсами специальности	4
2. Краткий конспект лекций	5
3. Практические занятия	
3.1. Методические рекомендации по проведению практических занятий	28
3.2. Перечень тем практических занятий (с указанием объема в часах)	29
3.3. План проведения практических занятий	
4. Самостоятельная работа студентов	
4.1. Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы	30
4.2. График самостоятельной работы студентов	30
4.3. Методические указания по выполнению домашних заданий	31
4.4. Комплекты заданий для домашних расчетных работ	31
5. Материалы по контролю качества образования	
5.1. Методические указания по организации контроля знаний студентов	33
5.2. Критерии оценки знаний студентов	34
5.3. Фонды тестовых и контрольных заданий	35
6. Список рекомендуемой литературы	47