

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Блинова Светлана Павловна
Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе
Дата подписания: 22.03.2023 09:17:33
Уникальный программный ключ:
1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20231f31f50f5

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Норильский государственный индустриальный институт»
Политехнический колледж

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по самостоятельной работе для студентов
заочной формы обучения по междисциплинарному курсу
**«ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ
НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ»**

для специальности
13.02.01 Тепловые электрические станции

Методические указания по самостоятельной работе по междисциплинарному курсу **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ТУРБИННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ** разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования

13.02.01 Тепловые электрические станции

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт

Разработчик:

О.С.Комиссарова, преподаватель Политехнического колледжа

Утверждено на заседании методического совета колледжа

Протокол №___ от «___»_____2018г.

Зам. директора по УР

С.П.Блинова

Содержание

Введение	4
1 Тематический план	7
Раздел 1 Основные сведения о теплосиловой установке	
Тема 1.1 Назначение, классификация и принципиальная схема турбоустановки	8
Тема 1.2 Этапы развития турбостроения	8
Раздел 2 Теория теплового процесса и конструкции теплоэнергетического оборудования	8
Тема 2.1 Понятие о теплосиловой установке	9
Тема 2.2 Принцип действия паровых турбин	9
Тема 2.3 Основные узлы и конструкция паровой турбины	16
Тема 2.4 Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии	19
Тема 2.5 Системы маслоснабжения паровых турбин	20
Тема 2.6 Конденсационные установки паровых турбин и их эксплуатация.	22
Раздел 3 Вспомогательное оборудование паротурбинных электростанций.....	22
Тема 3.1 Теплообменные аппараты системы регенеративного подогрева питательной воды	22
Тема 3.2 Оборудование водопитательных и теплофикационных установок	23
Тема 3.3 Водоподготовительные установки и водно-химический режим	23
Тема 3.4 Эксплуатация паровых турбин в стационарных условиях	23
Тема 3.5 Эксплуатация паротурбинных установок	
Раздел 4 Перспективные направления развития энергетики	
Тема 4.1 Бинарные парогазовые установки	25
Тема 4.2 Конструкции газотурбинных установок	
Тема 4.3 Воздушные конденсационные установки	
3 Методические указания по выполнению контрольных работ	
4 Варианты контрольных работ	28
Литературные источники	30

Введение

Методические указания по междисциплинарному курсу «Техническое обслуживание турбинного оборудования на тепловых электрических станциях» предназначены для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции в условиях действия государственного образовательного стандарта СПО, оказания помощи обучающимся очной форме обучения в организации их самостоятельной работы при изучении учебного материала.

Данный междисциплинарный курс предусматривает изучение паротурбинных и газовых установок, принципиальных тепловых схем паротурбинного оборудования, эксплуатацию и технику безопасности на тепловых электрических станциях.

Преподавание данного междисциплинарного курса имеет практическую направленность и осуществляется в тесной взаимосвязи с другими междисциплинарными курсами профессионального цикла.

В процессе изучения междисциплинарного курса «Техническое обслуживание турбинного оборудования на тепловых электрических станциях» большое внимание уделяется вопросам экологической безопасности производства.

Перечень рекомендуемой литературы и вопросов для самоконтроля позволяет обучающимся самостоятельно определить необходимый объем изучаемого материала.

В результате изучения междисциплинарного курса обучающийся должен:

иметь практический опыт по:

- чтению технологических и полных схем турбинного цеха;
- управлению работой турбины в соответствии с заданной нагрузкой;
- пуску турбины в работу;
- остановки турбины;
- выполнению переключений в тепловых схемах;
- составлению и заполнению оперативной документации по обслуживанию турбинного оборудования;
- отработке навыков обслуживания в плановых противоаварийных тренировках;
- контролю за водным режимом электрической станции;
- составлению и заполнению оперативной документации по обслуживанию оборудования химводоочистки;
- регистрации показаний контрольно-измерительных приборов;
- производству переключений с группового щита управления турбин;
- наладке работы турбинного оборудования при отклонении контролируемых величин;
- участию в испытаниях систем регулирования;

уметь:

- выбирать оптимальный режим работы турбины;
- рассчитывать расход пара на турбину;

- выбирать паровую турбину и вспомогательное оборудование;
- составлять схемы точек замеров контролируемых величин при обслуживании вспомогательного оборудования турбинной установки;
- анализировать работу вспомогательного оборудования по заданным значениям контролируемых величин;
- выбирать водно-химический режим;
- рассчитывать и выбирать основное оборудование водоподготовительных установок;
- пользоваться ключами щитов управления турбинной установкой;
- контролировать показания средств измерения;
- выбирать способы предупреждения и устранения неисправностей в работе турбинного оборудования, применяемые инструменты и приспособления;

знать:

- устройство, принцип работы и технические характеристики турбины и вспомогательного оборудования;
- технологический процесс производства тепловой и электрической энергии;
- процессы рабочего тела теплового цикла;
- основы газодинамики пара при течении через каналы турбинных решеток;
- конструкцию узлов и деталей паровых турбин;
- назначение, разрезы, схемы, особенности конденсационных, теплофикационных турбин;
- назначение и конструкцию вспомогательного оборудования турбинного цеха;
- регулирование, маслоснабжение и защиту паровых турбин;
- режимы работы турбин;
- правила и порядок пуска турбины в работу, остановки турбины;
- работу турбины в рабочем диапазоне нагрузок;
- общие вопросы обслуживания турбины и вспомогательного оборудования;
- требования правил технической эксплуатации, правил техники безопасности при обслуживании турбинных установок и вспомогательного оборудования;
- структуру и порядок оформления технической документации;
- схемы обращения воды на электрических станциях;
- устройство, принцип работы и технические характеристики оборудования водоподготовительных и очистных сооружений ТЭС;
- показатели качества воды, используемые на ТЭС;
- способы очистки воды и водяного пара;
- способы очистки сточных вод водоподготовительных установок и конденсатоочисток;
- безреагентные способы подготовки воды;
- функциональные схемы регулирования вспомогательного оборудования турбинной установки;

- схемы автоматических защит основного и вспомогательного оборудования турбинной установки;
- компоновку щитов контроля и пультов управления турбинной установки;
- допустимые отклонения рабочих параметров турбоустановок и вспомогательного оборудования;
- неполадки и нарушения в работе турбинного оборудования;
- задачи и виды испытаний турбинного оборудования;
- основы организации, проведения теплотехнических испытаний турбин и вспомогательного оборудования.

Содержание междисциплинарного курса ориентировано на подготовку студентов к освоению профессиональных модулей ОПОП по специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции и овладению профессиональными компетенциями:

ПК 2.1. Проводить эксплуатационные работы на основном и вспомогательном оборудовании турбинного цеха.

ПК 2.2. Обеспечивать водный режим электрической станции.

ПК 2.3. Контролировать работу тепловой автоматики, контрольно-измерительных приборов, электрооборудования в турбинном цехе.

ПК 2.4. Проводить наладку и испытания основного и вспомогательного оборудования турбинного цеха.

В процессе освоения дисциплины студент должен овладевать общими компетенциями:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, определять методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

ОК 3. Решать проблемы, оценивать риски и принимать решения в нестандартных ситуациях.

ОК 4. Осуществлять поиск, анализ и оценку информации, необходимой для постановки и решения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии для совершенствования профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в коллективе и команде, обеспечивать ее сплочение, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.

ОК 7. Ставить цели, мотивировать деятельность подчиненных, организовывать и контролировать их работу с принятием на себя ответственности за результат выполнения заданий.

ОК 8. Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.

ОК 9. Быть готовым к смене технологий в профессиональной деятельности.

1 Тематический план

Наименование разделов и тем

Раздел 1 Основные сведения о теплосиловой установке

Тема 1.1 Назначение, классификация и принципиальная схема турбоустановки

Тема 1.2 Этапы развития турбостроения

Раздел 2 Теория теплового процесса и конструкции теплоэнергетического оборудования

Тема 2.1 Понятие о теплосиловой установке

Тема 2.2 Принцип действия паровых турбин

Тема 2.3 Основные узлы и конструкция паровой турбины

Тема 2.4 Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии

Тема 2.5 Системы маслоснабжения паровых турбин

Тема 2.6 Конденсационные установки паровых турбин и их эксплуатация.

Раздел 3 Вспомогательное оборудование паротурбинных электростанций.....

Тема 3.1 Теплообменные аппараты системы регенеративного подогрева питательной воды

Тема 3.2 Оборудование водопитательных и теплофикационных установок

Тема 3.3 Водоподготовительные установки и водно-химический режим

Тема 3.4 Эксплуатация паровых турбин в стационарных условиях

Тема 3.5 Эксплуатация паротурбинных установок

Раздел 4 Перспективные направления развития энергетики

Тема 4.1 Бинарные парогазовые установки

Тема 4.2 Конструкции газотурбинных установок

Тема 4.3 Воздушные конденсационные установки

.....

2 Содержание междисциплинарного курса

Раздел 1 Основные сведения о теплосиловой установке

Тема 1.1 Назначение, классификация и принципиальная схема турбоустановки

Цель: развитие умения самостоятельно работать с книгой, находить нужную информацию, выделять главное.

Вид самостоятельной работы: работа с конспектом лекций, учебниками

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Классификация паровых турбин.
- 2 Основные условные обозначения, применяемые в тепловых схемах паросиловых установок.
- 3 Для чего предназначена паровая турбина?
- 4 Рабочий процесс в паросиловой установке.

Литература: [2, с. 16-22].

Тема 1.2 Этапы развития турбостроения

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Создатели первой паровой турбины?
- 2 Принцип действия одноступенчатой активной турбины.
- 3 Принцип действия реактивной турбины.
- 4 Принцип действия многоступенчатой активной турбины.

Литература: [3, с. 5-15].

Раздел 2 Теория теплового процесса и конструкции теплоэнергетического оборудования

Тема 2.1 Понятие о теплосиловой установке

Цель: развитие умения самостоятельно работать с книгой, находить нужную информацию, выделять главное.

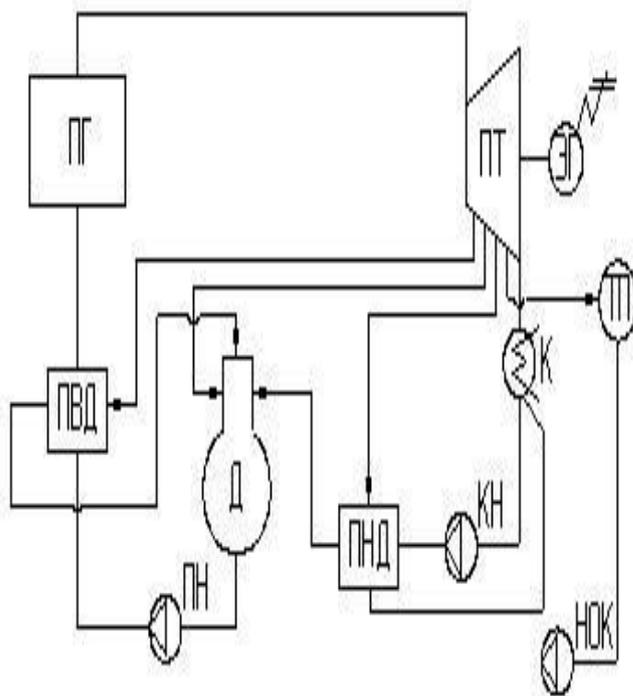
Вид самостоятельной работы: работа с конспектом лекций, учебниками

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое механическая работа.
- 2 Что такое мощность?
- 3 Зависимость между вакуумом, абсолютным и атмосферным давлениями.
- 4 Что такое вращающий момент. Зависимость между числом оборотов и совершаемой работой.
- 5 Дать понятие закону сохранения энергии.
- 6 Что называют калорией?
- 7 Что такое теплотворная способность топлива?

Принципиальная схема ТЭС.



- ПГ – парогенератор
- ПТ – паровая турбина
- ПН – питательный насос
- КН – конденсатный насос
- ПНД (ПВД) – подогреватель низкого (высокого) давления
- К – конденсатор
- Д – деаэрактор
- ЭГ – электрогенератор
- ТТ – теплопотребитель
- НОК – насос охлажденного конденсата

Литература: Литература: [2, с. 10-15],[5, с. 60-133].

Тема 2.2 Принцип действия паровых турбин

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое удельный расход пара?
- 2 Для чего предназначено валоповоротное устройство?
- 3 Какие элементы можно отнести к неподвижным частям турбины?
- 4 В какой части турбины происходит самая большая потеря теплоты?

Литература: [1 стр.11-17].

Практическая работа №1

Тема: Построение процесса расширения пара в турбине.

Цель работы: Определить располагаемый и действительный теплоперепады в цилиндрах высокого, среднего и низкого давлений.

Исходные данные к расчету:

Номинальная электрическая мощность $N_{э}$, МВт;

Давление свежего пара P_0 , МПа;

Температура свежего пара t_0 , °С;

Давление отработавшего пара P_k , МПа;

Частота вращения ротора $n = 3000$ об/мин.

Построение процесса расширения пара выполняется последовательно для ЦВД, ЦСД и ЦНД турбины.

Особенности расчета тепловой схемы: при построении в $h-s$ диаграмме процесса расширения пара в турбинах типа ПТ, давление пара после расширения его в ЦВД принимается равным давлению пара в производственном отборе, давление пара после ЦВД принимается равным давлению пара в теплофикационном отборе. Количество и параметры регенеративного оборудования берутся из характеристики данного агрегата.

$$P_2 = P_{п}; P_3 = P_{т}.$$

Построение процесса расширения пара в ЦВД:

По параметрам свежего пара в диаграмме $h-s$ находим точку O и в ней энтальпию h_0 , кДж/кг.

Перед турбиной находятся регулирующие и стопорные клапаны (РК и СК), в которых происходит процесс дросселирования. Потеря давления от дросселирования определяется по формуле и составляет 3–5 % от P_0 МПа :

$$\Delta P = (3 - 5) \cdot P_0,$$

Давление пара перед соплами турбины определяется по формуле, МПа:

$$P_{0'} = P_0 - \Delta P,$$

В $h-s$ диаграмме на пересечении изобары $P_{0'}$ и изоэнтальпы h_0 находим точку O' . Из точки O' опускаем адиабату до пересечения с изобарой P_{2a} – давление пара после ЦВД, которое можно принять ориентировочно и определить по формуле, МПа:

$$P_{2a} \approx \frac{P_0}{5},$$

Точное значение P_2 определяют из характеристики данной турбины:

$$P_2 = P_{2отб},$$

В $h-s$ диаграмме находим точку 2_a и в ней энтальпию пара после адиабатного расширения в ЦВД:

$$h_{2a} = \text{кДж/кг},$$

Располагаемый теплоперепад определяется по формуле, кДж/кг:

$$H_0^{ЦВД} = h_0 - h_{2a},$$

Действительный теплоперепад определяется по формуле, кДж/кг:

$$H_i^{ЦВД} = H_0^{ЦВД} \cdot \eta_{oi}^{ЦВД},$$

Значение $\eta_{oi}^{ЦВД}$ определяется по характеристике турбины.

Энтальпия пара после ЦВД определяется по формуле, кДж/кг:

$$h_2 = h_0 - H_i^{ЦВД},$$

По давлению пара после ЦВД P_2 и h -s диаграмме определяется точка 2, которая характеризует состояние пара в конце действительного процесса в ЦВД. На пересечении процесса $O'-2$ с изобарой P_1 определяется энтальпия пара в первом отборе $h_1 =$ кДж/кг.

Построение процесса расширения пара в ЦСД:

Потеря давления от дросселирования определяется по формуле и составляет 10–15 % от P МПа₂:

$$\Delta P = (10 - 15) \cdot P_2,$$

Давление пара перед соплами турбины определяется по формуле, МПа:

$$P'_2 = P_2 - \Delta P,$$

В h -s диаграмме на пересечении изобары P'_2 и изоэнтальпы h_2 находим точку 2'. Из точки 2' опускаем адиабату до пересечения с изобарой P_{3a} – давление пара после ЦСД, которое можно принять ориентировочно, Мпа.

$$P_{3a} \approx \frac{P_2}{5},$$

Точное значение P_3 определяю из характеристики данной турбины:

$$P_3 = P_{3отб},$$

В h -s диаграмме находим точку 3_a и в ней энтальпию пара после адиабатного расширения в ЦСД:

$$h_{3a} = \text{кДж/кг},$$

Располагаемый теплоперепад определяется по формуле, кДж/кг:

$$H_0^{ЦСД} = h_2 - h_{3a},$$

Действительный теплоперепад определяется по формуле, кДж/кг:

$$H_i^{ЦСД} = H_0^{ЦСД} \cdot \eta_{oi}^{ЦСД},$$

Значение $\eta_{oi}^{ЦСД}$ определяется по таблице 2:

Энтальпия пара после ЦСД определяется по формуле, кДж/кг:

$$h_3 = h_2 - H_i^{ЦСД}.$$

По давлению пара после ЦСД P_3 и h -s диаграмме определяется точка 3, которая характеризует состояние пара в конце действительного процесса в ЦСД.

Построение процесса расширения пара в ЦНД:

Потеря давления от дросселирования определяется по формуле и составляет 30–40 % от P_3 МПа:

$$\Delta P = (30 - 40) \cdot P_3,$$

Давление пара перед соплами турбины определяется по формуле, МПа:

$$P'_3 = P_3 - \Delta P.$$

Строим в h - s диаграмме процесс адиабатного расширения пара. Для этого из точки 3' опускаем адиабату до пересечения с изобарой $P_K = \text{МПа}$ давление отработавшего пара, получаем точку K_a и в ней определяем энтальпию:

$$h_{Ka} = \text{кДж/кг}.$$

Располагаемый теплоперепад определяется по формуле, кДж/кг:

$$H_0^{\text{ЦНД}} = h_3 - h_{Ka},$$

Действительный теплоперепад определяется по формуле, кДж/кг:

$$H_i^{\text{ЦНД}} = H_0^{\text{ЦНД}} \cdot \eta_{oi}^{\text{ЦНД}},$$

Значение $\eta_{oi}^{\text{ЦНД}}$ определяется по таблице 2:

Энтальпия пара после ЦНД определяется по формуле, кДж/кг:

$$h_K = h_3 - H_i^{\text{ЦНД}}.$$

По давлению пара после ЦНД P_K и h - s диаграмме определяется точка K , которая характеризует состояние пара в конце действительного процесса в ЦСД.

Действительный теплоперепад турбины определяется по формуле, кДж/кг:

$$\sum H_i = H_i^{\text{ЦВД}} + H_i^{\text{ЦСД}} + H_i^{\text{ЦНД}} = h_0 - h_K.$$

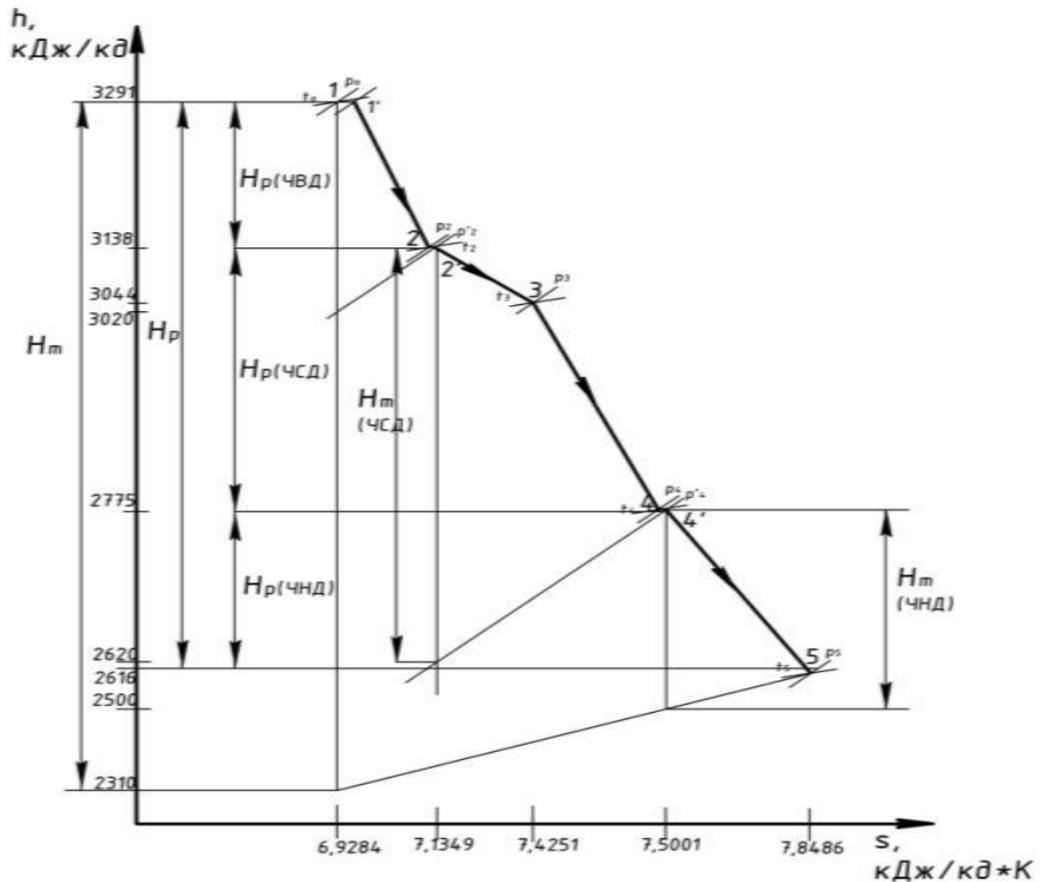


Рисунок 1.1 - Процесс расширения пара в турбине ПТ -12-35/10М.

Пример расчета турбины типа ПТ-12-35/10М:

Номинальная электрическая мощность $N_э = 12$ МВт;

Давление свежего пара $P_0 = 3,5$ МПа = 35 кгс/см² (бар);

Температура свежего пара $t_0 = 435$ °С;

Давление отработавшего пара $P_k = 0,024$ МПа;

Частота вращения ротора $n = 3000$ об/мин.

Построение процесса расширения пара выполняется последовательно для ЦВД, ЦСД и ЦНД турбины.

Построение процесса расширения пара в ЦВД:

По параметрам свежего пара в диаграмме $h-s$ находим энтальпию $h_0 = 3291$ кДж/кг.

Потеря давления от дросселирования составляет 3–5 % от P_0 :

$$\Delta P = 0,03 \cdot P_0 = 0,03 \cdot 3,5 = 0,105 \text{ МПа};$$

Давление пара перед соплами турбины:

$$P_{0'} = P_0 - \Delta P = 3,5 - 0,105 = 3,4 \text{ МПа};$$

Находим P_{2a} – давление пара после ЦВД:

$$P_{2a} \approx \frac{P_0}{5} = \frac{3,5}{5} = 0,7 \text{ МПа};$$

Точное значение P_2 определяю по характеристике турбины.

$$P_2 = P_{2отб} = 0,5 \text{ МПа};$$

В $h-s$ диаграмме находим точку 2_a и в ней энтальпию пара после адиабатного расширения в ЦВД:

$$h_{2a} = 2885 \text{ кДж/кг};$$

Располагаемый теплоперепад:

$$H_0^{ЦВД} = h_0 - h_{2a} = 3291 - 2885 = 406 \text{ кДж/кг};$$

Действительный теплоперепад:

$$H_i^{ЦВД} = H_0^{ЦВД} \cdot \eta_{oi}^{ЦВД} = 406 \cdot 0,769 = 312 \text{ кДж/кг};$$

Энтальпия пара после ЦВД:

$$h_2 = h_0 - H_i^{ЦВД} = 3291 - 312 = 2979 \text{ кДж/кг}.$$

По давлению пара после ЦВД P_2 и $h-s$ диаграмме определяется точка 2, которая характеризует состояние пара в конце действительного процесса в ЦВД. На пересечении процесса $O'-2$ с изобарой $P_1 = 1,35$ МПа определяется энтальпия пара в первом отборе $h_1 = 3135$ кДж/кг.

Построение процесса расширения пара в ЦСД:

Потеря давления от дросселирования составляет 10–15 % от P_2 :

$$\Delta P = 0,03 \cdot P_2 = 0,10 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ МПа};$$

Давление пара перед соплами турбины:

$$P_2' = P_2 - \Delta P = 0,5 - 0,05 = 0,45 \text{ МПа};$$

Находим P_{3a} – давление пара после ЦСД:

$$P_{3a} \approx \frac{P_2}{5} = \frac{0,5}{5} = 0,1 \text{ МПа};$$

Точное значение P_3 определяю по характеристике турбины.

$$P_3 = P_{3отб} = 0,127 \text{ МПа};$$

В h - s диаграмме находим точку Z_a и в ней энтальпию пара после адиабатного расширения в ЦСД:

$$h_{3a} = 2665 \text{ кДж/кг};$$

Располагаемый теплоперепад:

$$H_o^{ЦСД} = h_2 - h_{3a} = 2979 - 2665 = 314 \text{ кДж/кг};$$

Действительный теплоперепад:

$$H_i^{ЦСД} = H_o^{ЦСД} \cdot \eta_{oi}^{ЦСД} = 314 \cdot 0,802 = 252 \text{ кДж/кг};$$

Энтальпия пара после ЦСД:

$$h_3 = h_2 - H_i^{ЦСД} = 2979 - 252 = 2727 \text{ кДж/кг}.$$

По давлению пара после ЦСД P_3 и h - s диаграмме определяется точка Z , которая характеризует состояние пара в конце действительного процесса в ЦСД.

Построение процесса расширения пара в ЦНД:

Потеря давления от дросселирования составляет 30–40 % от P_3 :

$$\Delta P = 0,03 \cdot P_3 = 0,30 \cdot 0,127 = 0,038 \text{ МПа};$$

Давление пара перед соплами турбины:

$$P'_3 = P_3 - \Delta P = 0,127 - 0,038 = 0,089 \text{ МПа};$$

Строим в h - s диаграмме процесс адиабатного расширения пара. Для этого из точки Z' опускаем адиабату до пересечения с изобарой $P_K = 0,024$ МПа давление отработавшего пара, получаем точку K_a и в ней определяем энтальпию:

$$h_{Ka} = 2520 \text{ кДж/кг};$$

Располагаемый теплоперепад:

$$H_o^{ЦНД} = h_3 - h_{Ka} = 2727 - 2520 = 207 \text{ кДж/кг};$$

Действительный теплоперепад:

$$H_i^{ЦНД} = H_o^{ЦНД} \cdot \eta_{oi}^{ЦНД} = 207 \cdot 0,774 = 160 \text{ кДж/кг};$$

Энтальпия пара после ЦНД:

$$h_K = h_3 - H_i^{ЦНД} = 2727 - 160 = 2567 \text{ кДж/кг}.$$

По давлению пара после ЦНД P_K и h - s диаграмме определяется точка K , которая характеризует состояние пара в конце действительного процесса в ЦСД.

Действительный теплоперепад турбины:

$$\sum H_i = H_i^{ЦВД} + H_i^{ЦСД} + H_i^{ЦНД} = h_o - h_K = 724 \text{ кДж/кг}.$$

Контрольные вопросы:

1. Принцип действия паровых турбин.
2. В чем заключается рабочий процесс паросиловой установки?
3. Какие типы турбин вы знаете?
4. Что называется располагаемым и действительным теплоперепадами?
5. Дать определение ступени турбины.
6. Что такое мощность и КПД турбоустановки?
7. Какие способы парораспределения вы знаете?

Таблица 1.1 Выбор варианта задания.

Номер варианта	Тип турбины	Мощность, МВт
1	К-200-130 ЛМЗ	200
2	К-300-240 ХТГЭ	300
3	К-160-130	160
4	К-100-90/ВК-100-2/	100
5	Т-250-240	250
6	Т-100-130	100
7	Т-50-130	50
8	ПТ-135-130/13	135
9	ПТ-60-90/13	60
10	ПТ-25-90/10	25

Начальные данные для расчета брать из характеристики паровой турбины, выбранного варианта.

Таблица 1.2 Коэффициент полезного действия цилиндров паровых турбин.

КПД Цилиндров	Номинальная мощность турбины N_n , МВт						
	25	50-60	100	125-135	160	250	300
ЦВД $\eta_{0э}$	0,7	0,8	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85
ЦСД $\eta_{0э}$	0,85	0,86	0,85	0,86	0,88	0,88	0,87
ЦНД $\eta_{0э}$	0,75	0,82	0,83	0,82	0,83	0,83	0,84

Подготовить отчет о практической работе №1.

Литература: Литература: [1 стр.11-17].

Тема 2.3 Основные узлы и конструкция паровой турбины

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

1. Почему для роторов ЦВД на высокие начальные параметры нельзя использовать сборные роторы?
2. Назовите типы соединительных муфт, используемых для валопроводов турбоагрегата?
3. Перечислите основные уплотнения турбины и назовите основные требования к ним.
4. Что определяет потери пара?
5. Как в опорном подшипнике изменяется положение оси расточки вкладыша?
6. Что такое осевой сдвиг ротора и как его предупреждают?
7. Какие способы парораспределения вы знаете?

Литература: [5, с.60-132].

Практическая работа № 2.

Тема: Тепловой цикл Ренкина паротурбинной установки.

Цель работы: Рассмотреть тепловые процессы, проходящие в цикле Ренкина. Определить термический КПД теплового цикла паротурбинной установки.

Краткие теоретические сведения

Паротурбинная установка - это непрерывно действующий тепловой двигатель, работающий на воде и водяном паре.

В паропроизводящую установку (котел) подается питательная вода (рис. 2.1) с параметрами $P_{п.в.}$, МПа и $h_{п.в.}$, кДж/кг.

За счет передачи воде тепла q_1 происходит ее нагрев и испарение, и с параметрами p_0 , t_0 , h_0 пар поступает в турбину. Расширяясь, пар совершает работу l_m и с параметрами p_k , t_k , h_k идет в конденсатор. Здесь в теплоприемнике пар отдает свою теплоту конденсации q_2 охлаждающей воде, и конденсат с энтальпией $h'_k < h_k$ поступает к питательному насосу. За счет затраты работы l_n в насосе давление питательной воды поднимается до значения $P_{п.в.}$, с которым она поступает в котел.

На рис. 2.2 показан цикл Ренкина для турбоустановок ТЭС, использующих перегретый пар, при идеальных паровой турбине и насосе. Процесс расширения пара ok в такой турбине и сжатия в насосе $\alpha\alpha'$ происходят изоэнтропийно, без потерь. Процесс $\alpha'bc\alpha$ в цикле изображает изобарный подвод тепла в котле (нагрев $\alpha'b$, испарение bc и перегрев co), а процесс $k\alpha$ - конденсацию пара.

Определим термический КПД η_t цикла Ренкина.

При изобарном подводе тепла в котле:

$$q_1 = h_0 - h_{п.в.},$$

где h_0 – энтальпия пара за котлом, кДж/кг;

$h_{п.в.}$ – энтальпия питательной воды (рис. 2.1), кДж/кг.

Тепло, отводимое охлаждающей водой в конденсаторе:

$$q_2 = h_{кт} - h'_к,$$

где $h_{кт}$ – энтальпия отработавшего пара, кДж/кг;

$h'_к$ – энтальпия конденсата, кДж/кг.

Тогда термический КПД цикла Ренкина:

$$\eta_t = \frac{(h_0 - h_{п.в.}) - (h_{кт} - h'_к)}{h_0 - h_{п.в.}} \quad 2.1$$

Поскольку разность $(h_{п.в.} - h'_к)$ представляет собой работу насоса, отнесенную к 1 кг прокачиваемой воды, а разность $h_0 - h_{кт} = H_0^{турб}$ – располагаемый теплоперепад турбины, то пренебрегая работой насоса, из формулы 2.1 получаем приближенное соотношение для определения термического КПД:

$$\eta_t = \frac{H_0^{турб}}{h_{кт} - h'_к} = \frac{H_0^{турб}}{q_1} \quad 2.2$$

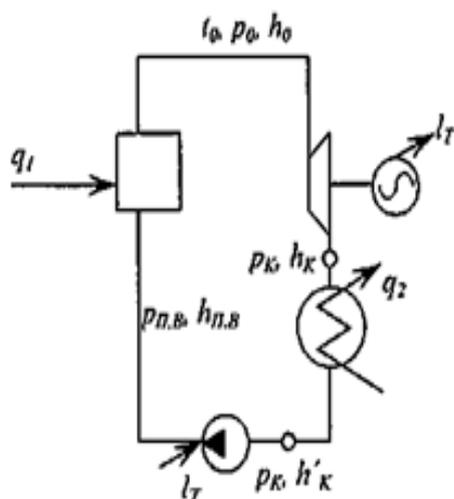


Рис. 2.1 – Упрощенная схема простейшей ПТУ ТЭС

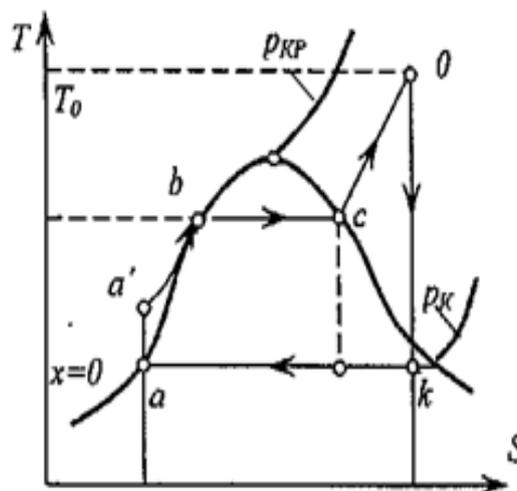


Рис. 2.2 – Тепловой цикл Ренкина ПТУ

Пример расчета

Определить с помощью h,s - диаграммы давление p , температуру t , энтальпию h , энтропию s рабочего тела в точках a, a', b, c, o, k теплового цикла Ренкина (рис. 2.2), а также термический КПД цикла если параметры пара перед турбиной $p_0 = 5 \text{ МПа}$, $t_0 = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ и пар расширяется до давления $p_k = 0,1 \text{ МПа}$.

Решение: Т.к. подвод тепла в котле изобарный, то

$$p_{a'} = p_b = p_c = p_o = 5 \text{ МПа};$$

Пользуясь h,s - диаграммой находим параметры рабочей среды в

точке с:

температура $t_c = 270 \text{ }^\circ\text{C}$; энтальпия $h_c = 2800 \text{ кДж/кг}$; энтропия $s_c = 6 \text{ кДж/(кгК)}$;

точке о:

энтальпия $h_0 = 3555 \text{ кДж/кг}$; энтропия $s_0 = 7,12 \text{ кДж/(кгК)}$;

точке к:

температура $t_k = 100 \text{ }^\circ\text{C}$; энтальпия $h_k = 2580 \text{ кДж/кг}$; энтропия $s_k = 7,12 \text{ кДж/(кгК)}$;

Зная термодинамические свойства воды найдем энтальпию точки α, α', b :

$$h_a = h_{a'} = t \cdot c_b = 100 \cdot 4,186 = 418,6 \text{ кДж/кг};$$

$$h_b = t \cdot c_b = 270 \cdot 4,186 = 1130,22 \text{ кДж/кг}.$$

Определим термический КПД η_t цикла Ренкина:

$$\eta_t = \frac{h_0 - h_{kt}}{h_0 - h_k} = \frac{3555 - 2580}{3555 - 418,6} = 0,31 \quad 2.3$$

Задание

По исходным данным (см. таблицу 2.1) определить с помощью h,s - диаграммы давление p , температуру t , энтальпию H , энтропию s рабочего тела в точках $\alpha, \alpha', b, c, o, k$ теплового цикла Ренкина (рис. 2.2), а также термический КПД

Таблица 2.1. Варианты заданий

№	Параметры рабочего тела теплового цикла		
	в точке о		в точке к
	давление p_0 , МПа	температура t_0 , $^\circ\text{C}$	давление p_k , МПа
1	1	600	0,01
2	2	600	0,002
3	3	600	0,005
4	5	600	0,03
5	1	550	0,005
6	2	550	0,04
7	3	580	0,06
8	2	590	0,02
9	4	595	0,05
10	1	535	0,03

цикла η_t , если параметры пара перед турбиной p_0, t_0 и пар расширяется до давления p_k . Результаты внести в таблицу 2.2.

Порядок выполнения

1. Определить с помощью h,s - диаграммы давление p , температуру t , энтальпию h , энтропию s рабочего тела в точках с, о, к теплового цикла Ренкина.
2. Найти p , t , энтальпию h точки α , α' , б цикла Ренкина.
3. Определить термический КПД цикла η_t Ренкина по формуле 2.2.
4. Результаты внести в таблицу 2.2.
5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой паротурбинная установка?
2. Почему тепловой цикл электростанции выполняют замкнутым?
3. Для чего используется h,s -диаграмма?
4. В чем состоит первый и второй закон термодинамики?
5. Тепловые циклы паротурбинных установок.

Литература: [1 стр. 14-21] [5 стр. 24-26].

Таблица 2.2

Точка	p , МПа	t , °С	h , кДж/ кг	s , кДж/ кгК
α'				
б				
с				
о				
к				
α				

Подготовить отчет о практической работе №2.

Тема 2.4 Турбины для комбинированной выработки теплоты и электрической энергии.

В результате изучения данной темы студент должен уметь читать тепловые схемы турбинных установок со всем ее вспомогательным оборудованием, а также изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Чем определяется мощность у турбин с противодавлением?
- 2 Чем определяется внутренняя мощность турбины с противодавлением и отбором пара?
- 3 По какому графику могут работать теплофикационные турбины типа Т?
- 4 Для чего предназначены встроенные пучки в конденсаторах теплофикационных турбин?

5 Какие типы турбин применяют для комбинированной выработки тепла и электроэнергии?

6 За счет чего получают выигрыш экономичности турбоустановки при введении многоступенчатого подогрева сетевой воды?

Принципиальные схемы турбоустановок.

Схема КЭС без промперегрева пара.

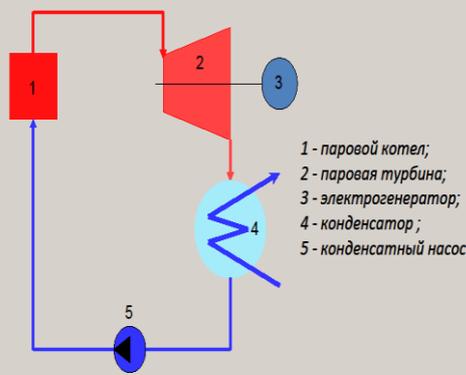


Схема КЭС с промперегревом пара.

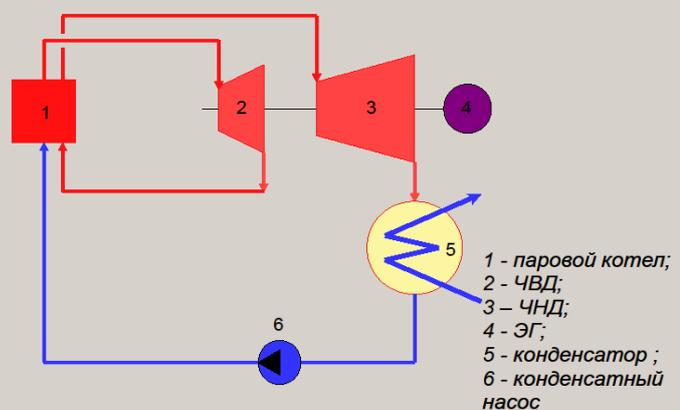


Схема турбоустановки с регулируемым производственным отбором пара типа П.

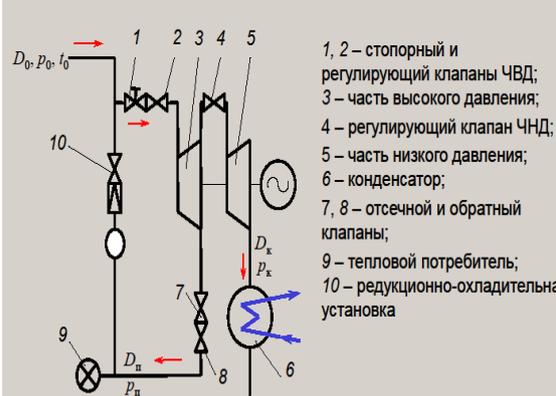
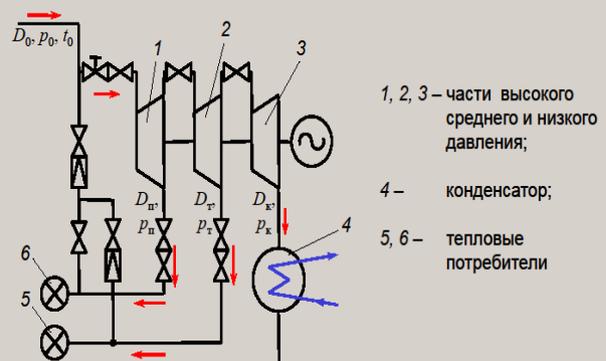


Схема турбоустановки с регулируемым производственным и теплофикационным отборами пара типа ПТ



Литература: [1, с. 201-207], [4, с. 87-98].

Тема 2.5 Системы маслоснабжения паровых турбин.

В результате изучения данной темы студент должен уметь читать тепловые схемы турбинной установки со всем ее вспомогательным оборудованием, а также изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

1 Сущность системы маслоснабжения.

- 2 Какие основные требования предъявляют к системам смазки паровых турбин
- 3 Почему при расположении главного масляного насоса на валу турбины масляный бак расположен также на одном уровне?
- 4 Что такое инжектор и для чего он предназначен в системе маслоснабжения?
- 5 Чем определяются размеры масляного бака?
- 6 Принцип действия маслоохладителя.
- 7 Почему масло из подшипников сливается в верхние слои масляного бака, а из системы регулирования в верхние слои?
- 8 Конструкции и типы маслоохладителей.

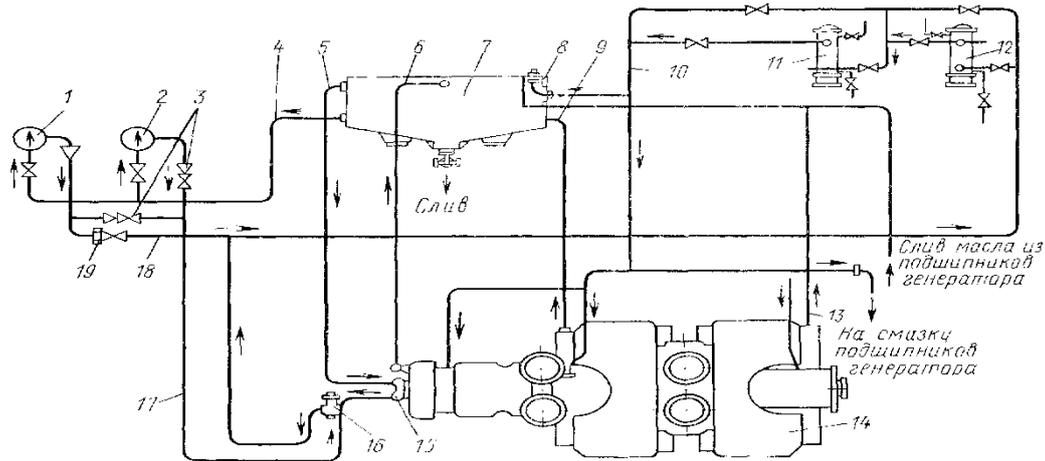


Схема системы маслоснабжения подшипников турбины с насосом объемного типа.

1 – электронасос, 2 – масляный пусковой турбонасос, 3 – задвижки и обратные клапаны, 4 – всасывающий трубопровод, 5- всасывающий трубопровод главного насоса, 6,9,13 – трубопроводы слива масла, 7 – масляный бак, 8 – сливной клапан, 10 – трубопровод смазывания подшипников, 11 – маслоохладитель, 12 – обводной масло провод очистки маслоохладителя, 14 – турбина, 15 – главный масляный насос, 16 – редукционный и предохранительный клапан, 17,18 – нагнетательные трубопроводы электронасоса, 19 – дросселирующая диафрагма

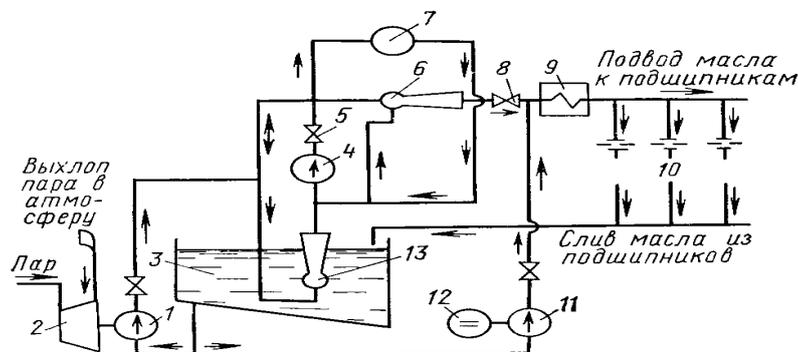


Схема системы маслоснабжения подшипников турбины с насосом центробежного типа.

1,2 – пусковой турбонасос и его турбина, 3 – масляный бак, 4 – главный масляный насос, 5,8 - обратные клапаны, 6,13 – инжектор, 7 – система

регулирования, 9 – маслоохладитель, 10 – подшипники, 11 - аварийный масляный электронасос, 12 – электродвигатель постоянного тока

Литература: [4, стр. 130-133], [5, стр. 135-147][6, стр. 110-134].

Тема 2.6 Конденсационные установки паровых турбин и их эксплуатация.

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

1. В чем разница во влиянии конденсатора на экономичность для конденсационной и теплофикационной турбоустановок?
2. Назовите основные функции конденсатора?
3. Чем вредны присосы воздуха в конденсаторе?
4. Объясните, как связана работа конденсатора и эжектора?
5. Что такое переохлаждение конденсата, каковы его причины и чем оно вредно?
6. Что такое кратность охлаждения?
7. Чем опасно попадание сырой воды в паровое пространство конденсатора?
8. Для какой цели служит встроенный (теплофикационный) пучок в конденсаторах теплофикационной турбин?
9. Чем отличается прямоточное водоснабжение от оборотного их преимущества и недостатки.
10. В чем главная особенность работы конденсатных насосов?

Литература: [5, стр. 180-206].

Раздел 3 Вспомогательное оборудование паротурбинных электростанций

Тема 3.1 Теплообменные аппараты системы регенеративного подогрева питательной воды

Цель: развитие умения самостоятельно работать с книгой, находить нужную информацию, выделять главное.

Вид самостоятельной работы: работа с конспектом лекций, учебниками

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Почему подогреватели системы регенеративного подогрева в большинстве случаев представляют комбинированные аппараты? Типы регенеративных подогревателей.
- 2 Особенности выполнения подогревателей низкого давления, работающих под разрежением. Конструктивные решения этих аппаратов.
- 3 Каким образом происходит движение греющего пара в подогревателях с встроенной зоной ОП? Особенности ее конструктивного решения?
- 4 Организация встроенной зоны охладителя конденсата в подогревателях низкого давления.
- 5 Какова должна быть степень подогрева воды в регенеративном подогревателе?
- 6 Как распределить отборы по турбине?
- 7 Сколько отборов оптимально для турбины?

Литература: [6, стр. 5-26], [7, стр. 37-43].

Тема 3.2 Оборудование водопитательных и теплофикационных установок

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие способы деаэрации вы знаете?
- 2 Типы и принцип действия деаэраторов.
- 3 Охарактеризуйте значение выпара для работы деаэратора.
- 4 Почему применяется деаэрация воды на электрических станциях?
- 5 Что такое термическая деаэрация?
- 6 Принцип действия сетевых подогревателей и конструктивные особенности.
- 7 Конструкция и основные элементы водогрейных котлов. Характеристика и назначение.
- 8 Основные элементы редуционно-охладительной установки.
- 9 В чем выгода использования ступенчатого подогрева сетевой воды от отборов турбин?
- 10 Как устроен трубный пучок сетевого подогревателя?

Литература: [6, стр. 71-78], [7, стр. 130-162]. [8, стр. 191-203].

Тема 3.3 Водоподготовительные установки и водно-химический режим

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Основное оборудование, которое участвует в очистке

технологической воды для тепловых электрических станций?

- 2 Способы и методы водоочистки.
- 3 Принцип работы натрий-катионитных фильтров. Процесс умягчения воды.
- 4 Какой вред приносит кислород и углекислый газ тепломеханическому оборудованию?
- 5 Сущность обратного осмоса, преимущества этого метода?

Литература: [8, стр. 252-260], [265-267].

Тема 3.4 Эксплуатация паровых турбин в стационарных условиях

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Что такое маневренность оборудования?
- 2 Что происходит с противодавленческой турбиной при изменении начального и конечного давления пара?
- 3 Что происходит с расходом пара при увеличении начальной температуры пара?
- 4 Как влияет на работу турбины режим ухудшенного вакуума?

Литература: [9 стр. 20-38].

Тема 3.5 Эксплуатация паротурбинных установок.

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие основные требования предъявляют к эксплуатации ПТУ?
- 2 Назовите основные показатели надежности паровых турбин?
- 3 В чем состоит отличие конденсационных режимов от теплофикационных?
- 4 Чем различаются пуски конденсационной установки для неблочной и блочной ПТУ?
- 5 Назовите основные функции БРОУ?
- 6 Почему хотят ограничить время работы турбины на холостом ходу?
- 7 Для какой цели устанавливают эжектор циркуляционной системы?
- 8 Назовите основные этапы пуска теплофикационных установок.
- 9 Назовите основной принцип проведения пусковых операций.
- 10 Почему перед пуском конденсационных турбин создают вакуум?

Литература: [5, стр. 374-378], [5, стр. 382-394].

Раздел 4 Перспективные направления развития энергетики

Тема 4.1 Бинарные парогазовые установки

Цель: развитие умения самостоятельно работать с книгой, находить нужную информацию, выделять главное.

Вид самостоятельной работы: работа с конспектом лекций, учебниками

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Принцип действия газотурбинных установок.
- 2 Основные узлы и элементы ГТУ.
- 3 Когда и кем был построен первый газотурбинный двигатель в России?
- 4 Что называют удельной полезной работой ГТУ?
- 5 Дать определение коэффициенту полезной работы.
- 6 Что такое удельный расход газа простой ГТУ?
- 7 Какие газотурбинные установки применяют на тепловых электрических станциях?

Литература: [5, стр. 371-373],[5, стр. 398-403],[5, стр. 421-4393].

Тема 4.2 Конструкции газотурбинных установок

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Какие способы существуют для охлаждения элементов газовой турбины?
- 2 Устройство воздушного компрессора газовой турбины.
- 3 Устройство камеры сгорания газовой турбины.
- 4 Особенности конструкции направляющих лопаток.
- 5 Дать определение мощности развиваемой газовой турбиной.
- 6 По какому циклу могут работать газотурбинные электростанции?
- 7 Эксплуатация и обслуживание ГТУ и ПГУ.

Литература: [1, стр. 408-418],

Тема 4.3 Воздушные конденсационные установки

В результате изучения данной темы студент должен изучить следующие вопросы:

Вопросы для самоконтроля

- 1 Принцип действия и конструкции воздушных конденсаторов.
- 2 Из каких основных узлов состоит воздушный конденсатор?

- 3 Преимущества воздушных конденсаторов по сравнению с водоохлаждаемыми.
- 4 Новинки систем мокросухого охлаждения конденсата.
- 5 Обслуживание воздушных конденсаторов.

Литература: [12, стр.7-30].

3 Методические указания по выполнению контрольных работ

Самостоятельная работа при заочной форме обучения является основным видом учебной деятельности.

Содержание междисциплинарного курса разбито на смысловые блоки (разделы), которые, в свою очередь, разделяются на темы. Их последовательное изучение формирует целостное восприятие изучаемой дисциплины.

Контрольные работы выполняются студентами самостоятельно по окончании лекционного курса дисциплины.

Вариант контрольной работы определяет преподаватель.

Контрольная работа оформляется в соответствии с методическими указаниями по оформлению текстовых документов:

- выполняется на листах формата А4, 14 шрифтом Times New Roman, межстрочный интервал – одинарный;
- поля не менее 2,5 см;
- отступ – 12-15 мм;
- страницы должны быть пронумерованы;
- наличие титульного листа, содержания, используемых литературных источников.

Контрольная работа выполняется в сроки, установленные образовательным учреждением в соответствии с графиком учебного процесса.

В случае, если контрольная работа не зачтена, обучающийся обязан переработать ее согласно замечаниям преподавателя.

Основания для незачета контрольной работы:

- несоответствие варианта контрольной работы;
- несамостоятельный характер выполнения;
- неправильное, небрежное оформление контрольной работы.

При возникновении вопросов по оформлению или содержанию контрольной работы обучающийся может обратиться к преподавателю в дни его консультаций.

4 Варианты контрольных работ

Вариант 1

1. Каковы условия протекания «Изобарного процесса»?
2. Устройство и принцип работы подогревателей сетевой воды.
3. Принципиальная схема циркуляционного водоснабжения ТЭЦ.

Вариант 2

1. Отличие насыщенного пара от перегретого.
2. Основное и вспомогательное оборудование ТЭЦ. Назначение, принцип работы.
3. Что такое коэффициент полезного действия турбогенератора в целом?

Вариант 3

1. Каковы условия протекания «Изотермического процесса»?
2. Назначение регулируемых и нерегулируемых отборов паротурбинной установки.
3. Устройство и назначение конденсатных насосов.

Вариант 4

1. Каковы условия протекания «Изохорного процесса»?
2. Характеристика турбин типа «ПТ» и «Р».
3. Устройство и назначение редуциционно-охладительных установок (РОУ).

Вариант 5

1. Основные причины тепловых потерь на ТЭЦ и меры борьбы с ними.
2. Устройство, назначение и принцип работы конденсационной установки?
3. Основное оборудование ХВО.

Вариант 6

1. В чем отличие ламинарного движения жидкости от турбулентного. При каких условиях происходит переход движения жидкости от ламинарного к турбулентному?
2. Потери пара и конденсата в рабочем цикле ПТУ. Пути снижения потерь.
3. Устройство и назначение подогревателей низкого давления (ПНД).

Вариант 7

1. Какими способами передается теплота? Что называется конвекцией?
2. Характеристика турбин типа «Т», «К» и «ПР».
3. Устройство и назначение системы маслоснабжения турбоустановки (ТУ).

Вариант 8

1. Назначение регулируемых и нерегулируемых отборов пара турбоагрегата.
2. Основные узлы турбоагрегата.
3. Для чего предназначены сопловые решетки и диафрагмы?

Вариант 9

1. Что такое теплоэлектроцентраль? Отличие от КЭС.
2. Устройство и назначение подогревателей сетевой воды (ПСВ). С какой целью осуществляется отсос ПВС из корпуса сетевого подогревателя?
3. Назначение и основные задачи водоподготовки на ТЭЦ.

Вариант 10

1. В каких единицах измеряется «тепловая мощность»?
2. Классификация систем теплоснабжения. Схемы тепловых сетей.
3. Какие способы парораспределения вы знаете?

Литературные источники

Литературные источники

Основные источники

- 1 Костюк А.Г. и др. Турбины ТЭС и АЭС. Москва Изд-во. МЭИ, 2014.
- 2 С.М. Лосев Паровые турбины. Москва, Изд-во «Энергия», 2014.
- 3 Моторин А.В., Распопов И.В., Фурсов И.Д. Паровые турбины (Том 1,2) Изд-во Алт.ГТУ Барнаул, 2014.
- 4 Занин А.И., Соколов В.С. Паровые турбины: Учебное пособие для СПТУ-М.: Высш. шк., 2014.
- 5 А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин, Изд-во МЭИ, Москва Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки, 2014.
- 6 Лавыгин В.М., Ю.Г. Назмеев Теплообменные аппараты ТЭС, Москва Изд-во «Энергия», 2014.
- 7 О.И. Ильченко Тепло и массообменные аппараты ТЭС и АЭС. Киев Высш. шк., 2014.
- 8 Б.А.Соколов котельные установки и их эксплуатация.М.: Издательский центр «Академия» 2013.
- 9 Б.Э. Капелович, И.Г.Логинов Эксплуатация и ремонт паротурбинных установок. М.: Энергоатомиздат, 2014.
- 10 Гужулев Э.П. и др. Водоподготовка и вводно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие , 2014.
- 11 М.И. Щепетильников, В.И. Хлопушин Сборник задач по курсу ТЭС. Москва Энергоатом издат. 2014.
- 12 Теплоэнергетика ООО МАИК «НАУКА/ИНТЕРПЕРИОДИКА» 2016 г.

