Департамент образования Ивановской области

**Областное государственное бюджетное профессиональное**

**образовательное учреждение**

**«Ивановский энергетический колледж»**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Утверждаю  Зам. директора по УМР \_\_\_\_\_О.А. Борисова 31 августа 2016 г. |

**Методические указания**

**К выполнению**

**практических ЗАнятий**

**по ПМ. 04 Контроль технологических процессов производства**

**тепловой энергии и управление им**

**МДК 04.01 Основы контроля технологических процессов**

**и управления ими**

программы подготовки специалистов среднего звена

по специальности

**13.02.01 Тепловые электрические станции**

для студентов заочной формы обучения

Разработчик: Сушкова Ирина Павловна, председатель ЦК теплотехнических дисциплин, преподаватель ОГБПОУ «ИЭК».

Одобрено цикловой комиссией теплотехнических дисциплин заочного отделения

(Протокол №1 от «31» августа 2016 г.)

Председатель ЦК: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Сушкова И.П.

Рецензент:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка 4

Практическое занятие 1 6

Практическое занятие 2 12

Практическое занятие 3 20

Практическое занятие 4 35

Практическое занятие 5 40

Методические указания к выполнению практических занятий по ПМ.04 Контроль технологических процессов производства тепловой энергии и управление им для студентов заочной формы обучения разработаны на основании:

- ФГОС СПО по специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 822 от 28 июля 2014 г;

- программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 13.02.01 Тепловые электрические станции;

- рабочей программы ПМ.04 Контроль технологических процессов производства тепловой энергии и управление им.

Выполнение практических занятий направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений и знаний, которые составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки по освоению ПМ.04 Контроль технологических процессов производства тепловой энергии и управление им.

В результате освоения ПМ.04 обучающийся должен **уметь**:

- читать технологические схемы ТЭС;

- определять основные энергетические показатели ТЭС, параметры теплоносителя;

- рассчитывать основные технико-экономические показатели работы основного и вспомогательного оборудования ТЭС;

- рассчитывать коэффициенты, характеризующие надёжность и эффективность работы оборудования электрической станции;

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:

- основные тракты ТЭС;

- схемы и классификацию систем теплоснабжения;

- основные параметры теплоносителей;

- потребители тепловой энергии, их характеристики и графики нагрузок;

- способы регулирования отпуска с горячей водой, технологическим паром;

- основные энергетические показатели КЭС и ТЭЦ;

- методы повышения КПД электростанций;

- критерии надёжности и экономичности работы котла и турбины в условиях максимальной и минимальной нагрузок;

- условия рационального распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами.

В процессе выполнения практических занятий у обучающихся должны формироваться **общие компетенции:**

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

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

ОК 3. Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.

ОК 4. Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

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

ОК 7. Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий.

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

ОК 9. Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.

В процессе выполнения практических занятий у обучающихся должны формироваться **профессиональные компетенции**:

ПК 4.1 Управлять параметрами производства тепловой энергии.

ПК 4.2 Определять технико-экономические показатели работы основного и вспомогательного оборудования ТЭС.

ПК 4.3. Оптимизировать технологические процессы.

**По теме 4.1. Технологические процессы и схемы производства тепловой и электрической энергии** МДК 04.01 Основы контроля технологических процессов и управления ими предусмотрено выполнение **5 практических занятий**.

Практическая работа выполняются студентами индивидуально под руководством преподавателя.

Выполненная практическая работа должна быть оформлена в тетради.

**Критерий оценки** правильность и полнота выполненного задания при условии, что обучающийся может дать по работе объяснения.

**Исходные данные:** даны в методических указаниях к практическому занятию.

**Итоговая оценка:** «Зачёт» ставится в случае, если обучающийся может продемонстрировать практические результаты выполнения своей работы, которые должны совпадать с требуемыми, уметь давать по работе удовлетворительные объяснения. Если «Зачёт» не получен обучающимся, то он выполняет работу повторно в другой день до получения нужного результата.

|  |
| --- |
| Практическое занятие 1  **Определение основных энергетических показателей электростанции**  **Учебная цель**:  - получить практические навыки выполнения расчётов основных энергетических показателей тепловых электрических станций;  - точность и правильность выполнения расчётов основных технико- экономических показателей работы основного и вспомогательного оборудования тепловых электрических станций.  Продолжительность занятия - 2 часа.  В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь**:  - определять основные энергетические показатели ТЭС, параметры теплоносителя;  - рассчитывать основные технико-экономические показатели работы основного и вспомогательного оборудования ТЭС;  - рассчитывать коэффициенты, характеризующие надёжность и эффективность работы оборудования электрической станции.  В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:  - основные энергетические показатели КЭС и ТЭЦ;  - методы повышения КПД электростанций;  - условия рационального распределения нагрузки между параллельно работающими агрегатами.  **Рекомендуемые информационные источники:**   1. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под. ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Санаева. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.; ил.; 24 см. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00404-3. 2. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов / Л.С. Стерман, В.М. Лавыгин, С.Г. Тишин. – 5-е изд., стер.- М.:Издательский дом МЭИ, 2010. – 464 с.; ил.; 23,5 см – 1000экз. - ISBN 978-5-383-00466-1. 3. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн.1. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / под общ. Ред. Член – корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереот. – М.:Издательский дом МЭИ, 2007. – 528, [1] с.; 26,5 см. – 3000 экз. – ISBN 978-5-383-00016-8. 4. Александров А.А. Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. Службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. – 2-е изд., стереот. - Издательский дом МЭИ, 2006. – 168 с.; ил.; 26 см. – 5000 экз. – ISBN 5-903072-43-7.   **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ**  **РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**  При современных мощностях электростанций исключительно важное значение приобретают вопросы экономичности работы паротурбинных установок. Так как удельный расход топлива и КПД станции являются основными технико-экономическими показателями, характеризующими её работу, то изучению этих вопросов надо уделить особое внимание.  Тепловая экономичность конденсационных электростанций характеризуется значениями КПД удельных расходов теплоты и условного топлива на производство электроэнергии.  Энергетическая эффективность теплофикации оценивается по экономии топлива при комбинированной выработке тепловой и электрической энергии на ТЭЦ по сравнению с раздельной выработкой электроэнергии на КЭС, тепловой энергии в котельных. Оценивая экономичность работы ТЭЦ и определяя показатели их тепловой эффективности, необходимо иметь в виду качественную неравномерность тепловой и электрической энергии.  Повышение начальных параметров, позволяющее увеличить КПД цикла, является одним из основных источников экономии топлива на ТЭС. Повышение начального давления пара позволяет наряду с возможным увеличением тепловой экономичности электростанции позволяет увеличить мощность оборудования. Повышение мощности агрегатов не только позволяет использовать термодинамические преимущества высокого давления, но и приводит к снижению удельных капиталовложений и даёт возможность быстрее наращивать энергетические мощности.  Промежуточный перегрев пара позволяет осуществить дополнительный подвод тепла к рабочему телу, повысить его работоспособность и КПД турбоустановки и электростанции.  Регенеративный подогрев питательной воды является одним из важнейших средств повышения экономичности современных ТЭС и приобретает всё большее значение по мере повышения начальных параметров.  Выбор начальных параметров пара, параметров и числа ступеней промежуточного перегрева, параметров системы регенерации, определение оптимального давления в конденсаторах турбин является частью общей задачи комплексной оптимизации термодинамических и конструктивных характеристик блока.  Говоря об увеличении мощностей отдельных электростанций, необходимо уяснить два вида расширения действующих электростанций: пристройкой и надстройкой. В отличие от пристройки основная цель надстройки – повышение экономичности исходного цикла за счет повышения начальных параметров в нем. Возможности расширения зависят от располагаемого места, условий водо- и топливоснабжения, требований чистоты воздушного бассейна и др. Характеристики новых агрегатов расширения отражают технический прогресс в энергетике: мощность агрегатов обычно больше, начальные параметры выше. Таким образом, расширение действующей электростанции может являться одновременно ее модернизацией и служить для улучшения общих ее энергетических показателей.  **Пример 1.** Определить коэффициент готовности ТЭЦ к несению электрической нагрузки, если суммарная продолжительность плановых ремонтов и ревизий составила 1260 ч в году, а аварийный простой оборудования – 50 ч в году.  **Решение**  Коэффициент готовности *K*гот зависит от времени нахождения оборудования в ремонте и аварийном (нерабочем) состоянии за какой-то определенный период времени.  В течение года коэффициент готовности    Время нахождения агрегатов в резерве на величину *K*гот (по данной формуле) не влияет.  **Пример 2.** Для условий предыдущей задачи определить коэффициент надежности.  **Решение**  Для определения коэффициента надежности воспользуемся формулой:    **Пример 3.** Определить удельный расход теплоты на выработку 1 МДж электроэнергии (для условного топлива) для КЭС с тремя турбоагрегатами мощностью *N* = 75 ⋅103 кВт каждый и коэффициентом использования установленной мощности если станция израсходовала *B* = 670 ⋅ 106 кг/год каменного угля с низшей теплотой сгорания кДж/кг.  **Решение**  Установленная мощность КЭС кВт.  Количество выработанной электроэнергии за год  КПД КЭС брутто  Тогда удельный расход теплоты на выработку 1 МДж электроэнергии (для условного топлива) МДж/МДж.  **Пример 4.** Определить расход пара на конденсационную турбину без учета расхода пара на регенерацию, если электрическая мощность турбины *N*э = 110 кВт, начальные параметры *P*0 = 13 МПа, *t*0 = 540 °С, конечное давление *P*к = 0,005 МПа, степень сухости в конце действительного процесса расширения пара в турбине *x* = 0,9. КПД электромеханический ηэм = 0,98.  **Решение**  Для данного случая расход пара на турбину  кг/с = 359,8 т/ч.  Значения *h*0  и *h*к  определены с помощью *h*, *s*-диаграммы.  **Пример 5.** Определить, как изменится расход топлива на КЭС с турбоустановкой К-210-12,8, если она первоначально работала при отключенных отборах турбины с удельным расходом пара *d*1 = 2,9 кг/(кВт⋅ч). После включения регенерации удельный расход пара на турбину составил *d*2 = 3,5 кг/(кВт⋅ч) при температуре питательной воды *t*п.в = 240 °С и давлении, создаваемом питательным насосом, *P*п.н = 18,5 МПа. Параметры пара на выходе из котла *P*0 = 13,8 МПа, *t*0 = 550 °C. Давление отработавшего пара *P*к = 0,004 МПа, КПД котла η = 0,9.  **Решение**  1. Расход теплоты в котле при отключенных регенеративных отборах  кДж/ч,  где *h*0 = 3463 кДж/кг – энтальпия свежего пара, определенная при *P*0 = 13,8 МПа и *t*0 = 550 °С; кДж/кг – энтальпия насыщения при давлении в конденсаторе.  2. Расход теплоты в котле при включенных регенеративных отборах  кДж/ч,  где *h*п.в = 1039,8 кДж/кг – энтальпия питательной воды, определенная по *P*п.н = 18,5 МПа и *t*п.в = 240 °С.  3. Расход топлива при отключенных регенеративных отборах  т/ч.  4. Расход топлива при включенных регенеративных отборах  т/ч.  5.Экономия топлива за час Δ*B* = *B*1 – *B*2 = 77,1 – 67,5 = 9,6 т/ч.  **Пример 6.** Определить расход топлива и удельный расход топлива блоком К-800-23,5, если удельный расход теплоты при номинальной нагрузке *q* = 8000 кДж/(кВт⋅ч), КПД котла ηк = 0,94.  **Решение**  1. Расход теплоты на блок К-800-23,5  *Q* = *qN*э = 8000 ⋅ 800 ⋅ 103 = 6400 ⋅ 106 кДж/ч = 1800 ⋅ 103 кВт.  2. Расход топлива кг/с.  3. Удельный расход топлива кг у. т./(кВт⋅ч).  **Пример 7.** Конденсационная станция работает при начальных параметрах пара перед турбинами *P*0 = 8,8 МПа, *t*0 = 535 °C и давлением пара в конденсаторе *P*к = 4 ⋅ 103 Па. Определить, на сколько повысится КПД станции брутто (без учета работы питательных насосов) с увеличением начальных параметров пара до МПа и °С, если известны КПД котельной установки ηк.у = 0,9, КПД трубопроводов ηтр = 0,97, относительный внутренний КПД турбины ηо*i* = 0,84, механический КПД турбины ηм = 0,98 и электрический КПД генератора ηг = 0,98.  **Решение**  Энтальпию пара *h*0  при заданных начальных параметрах пара *P*0/*t*0 и энтальпию пара *h*2 в конце адиабатного расширения находим по *h*, *s*-диаграмме:  *h*0 = 3480 кДж/кг, *h*2 = 2030 кДж/кг (рисунок 1).  Энтальпию конденсата при давлении *P*к определяем по таблицам насыщения пара кДж/кг.  Термический КПД установки при начальных параметрах пара *P*0/*t*0    КПД КЭС брутто при начальных параметрах пара *P*0/*t*0    Энтальпию пара  при измененных начальных параметрах  и энтальпию пара  в конце адиабатного процесса расширения находим по *h*, *s*-диаграмме:  кДж/кг, кДж/кг.  *h*0 = 3480  *h*2 = 2030  *Р*0 = 8,8 МПа  *t*0 = 535 °C  *Р*к = 4 ⋅ 103 Па  *s*, кДж/(кг⋅К)    Термический КПД установки при начальных параметрах пара    КПД КЭС брутто при начальных параметрах пара    Следовательно, КПД КЭС брутто повысился:  или на 1%.  **ЗАДАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ 1**  После изучения теоретических основ данного материала и разбора решений типовых задач необходимо решить предложенные задачи и ответить на теоретические вопросы.  **Задача 1.** На сколько процентов увеличится термический КПД регенеративного цикла, если температура питательной воды после ПВД будет повышена с 200 до 260 °С? Начальные параметры пара за котлом *P*0 = 14 МПа, *t*0 = 540 °С. Энтальпия пара в конденсаторе *h*к = 2350 кДж/кг. Давление, создаваемое питательным насосом, *P*п.н = 18 МПа.  Ответ: на 5%.  **Задача 2.** Определить, на сколько увеличится термический КПД в результате понижения конечного давления. Начальные параметры пара *P*0 = 13 МПа, *t*0 = 540 °С, давление отработавшего пара *P*к = 0,1 МПа. В результате понижения давления располагаемый перепад тепла увеличился на 200 кДж/кг. Найти также новое значение конечного давления.  **Задача 3.** Определить степень регенерации, если температура питательной воды *t*п.в = 230 °С, давление пара после котла 13,8 МПа, а давление в конденсаторе *P*к = 0,004 МПа. При решении задачи рекомендуется пользоваться формулой (3-7) [1].  Ответ: σр = 0,656.  **Задача 4.** Определить оптимальное количество регенеративных подогревателей для турбоустановки, если термически оптимальная степень регенерации  При решении задачи можно воспользоваться формулой (3-9) [1].  Ответ: *n* = 7 шт. |
| **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ** |

1. Какие показатели характеризуют экономичность ТЭС?

2. Как определить удельные расходы условного топлива на отпуск тепла и на выработку 1 кВт⋅ч электроэнергии на ТЭЦ?

3. Как найти расход тепла и условного топлива на блок КЭС?

4. Как влияет изменение начальных параметров пара на экономичность паротурбинной установки?

5. Для каких целей применяется промежуточный перегрев пара?

6. Какие факторы сопровождают углубление вакуума? Какова величина оптимального вакуума?

7. Чем определяется выбор конечной температуры питательной воды?

8. Как влияет на термический КПД цикла число ступеней регенерации?

9. Каким коэффициентом характеризуется надежность работы отдельных агрегатов или блоков ТЭС?

10. Какой коэффициент характеризует вероятность аварийного состояния оборудования?

Практическое занятие 2

**Решение задач по тепловому расчёту элементов тепловых схем**

**Учебная цель**:

- демонстрация навыков чтения технологических и полных схем тепловых электрических станций;

- точность выполнения расчётов по оценке экономической эффективности работы основного и вспомогательного оборудования.

Продолжительность занятия - 4 часа.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь**:

- читать технологические схемы ТЭС;

- уметь производить расчёт элементов тепловых схем;

- рассчитывать коэффициенты, характеризующие надёжность и эффективность работы оборудования электрической станции.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:

- основные тракты ТЭС;

- основные параметры теплоносителей.

**Рекомендуемые информационные источники:**

1. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под. ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Санаева. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.; ил.; 24 см. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00404-3.
2. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А Ниренштейн; под общ. ред. Ю.М. Бродова.-М.:Издательский дом МЭИ, 2008.- 480 с.; ил. ISBN 978-5-383-00079-3/
3. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн.1. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / под общ. Ред. Член – корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереот. – М.:Издательский дом МЭИ, 2007. – 528, [1] с.; 26,5 см. – 3000 экз. – ISBN 978-5-383-00016-8.
4. Александров А.А. Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. Службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. – 2-е изд., стереот. - Издательский дом МЭИ, 2006. – 168 с.; ил.; 26 см. – 5000 экз. – ISBN 5-903072-43-7.

**Технические средства обучения:**

1. Электрифицированный стенд «Блочная схема турбины ПТ с регулируемыми отборами пара и барабанным котлом».

2. Электрифицированный стенд «Тепловая схема блока 800 МВт».

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ**

**РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

Регенеративный подогрев питательной воды применяется в настоящее время на всех паротурбинных установках, что существенно повышает их тепловую и общую экономичность. Подогрев питательной воды и конденсата паром, отбираемым из отборов турбины, осуществляется в регенеративных подогревателях.

Для регенеративного подогрева воды на электростанции применяют, преимущественно, поверхностные подогреватели и, частично, смешивающие. Смешивающие подогреватели энергетически выгоднее, так как в них возможен наиболее высокий подогрев воды – до температуры насыщения греющего конденсируемого пара *t*в = *t*н. Смешивающие подогреватели надежнее и дешевле поверхностных, обеспечивают лучший водный режим установки. Однако после каждого смешивающего подогревателя необходима установка перекачивающих насосов. Поверхностные подогреватели свободны от этого недостатка: достаточно иметь конденсатный насос, перекачивающий воду через ПНД, и питательный насос, перекачивающий воду через ПВД. Но в поверхностных подогревателях из-за термического сопротивления металла трубок вода нагревается до температуры ниже температуры насыщения греющего пара: *t*в = *t*н – Δ*t*. Обычно недогрев до температуры насыщения Δ*t* составляет 1,5–3 °С.

Для удаления растворенных в воде газов на паротурбинных электростанциях применяют термическую деаэрацию воды. Один из смешивающих подогревателей с давлением пара   
0,6–1,0 МПа используют в качестве деаэратора. Помимо выполнения основной функции – удаления из воды растворенных агрессивных газов (кислорода и углекислоты), деаэраторы служат также для регенеративного подогрева основного конденсата и являются местом сбора и хранения запаса питательной воды.

В последнее время все более широкое применение находит бездеаэраторная схема энергоблока, где первые ПНД после конденсатора выполнены смешивающего типа, включенными по схеме с перекачивающими конденсатными насосами. Использование бездеаэраторных схем энергоблоков связано с отказом от деаэрации воды и переходе к нейтрально-кислородному режиму с вводом кислорода в тракт конденсата. Образующаяся при этом на внутренней поверхности трубок оксидная пленка предохраняет металл от дальнейшей коррозии.

Генерация пара в паровом котле требует непрерывного восполнения соответствующим количеством питательной воды. Питательная насосная установка нагнетает питательную воду, повышая ее давление до *P*п.н = (1,25÷1,3)*P*0 с учетом сопротивления питательного тракта и парового котла. Энергоблоки небольшой мощности (до 210–220 МВт включительно) имеют обычно питательные насосы с приводом от асинхронного двигателя. Внедрение в энергетику мощных энергоблоков со сверхкритическими параметрами пара предопределили переход к более компактным насосам, использующим паротурбинный привод.

Потери пара и конденсата на ТЭС являются одновременно потерей тепла и вызывают дополнительные затраты энергии на их восполнение. Потери рабочего тепла на ТЭС разделяют на внутренние и внешние. Внутренние потери регламентируются ПТЭ и без учета потерь с продувочной водой должны составлять по отношению к общему расходу питательной воды не более:

на КЭС – 1%;

на ТЭЦ с чисто отопительной нагрузкой – 1,2%;

на ТЭЦ с производственной или производственно-отопительной нагрузкой – 1,6%.

Для теплоэлектроцентралей, кроме внутренних потерь, могут быть и внешние, связанные с транспортировкой пара на производство. Меньшую часть внутренних потерь на электростанции составляет потеря продувочной воды из барабанных котлов. Для снижения потерь продувочной воды и ее теплоты применяют сепараторы-расширители непрерывной продувки котлов и охладители продувочной воды.

На ТЭС применяют два способа подготовки добавочной воды: химический и термический. При химическом способе сырая вода проходит несколько этапов очистки, в основном методом ионного обмена. Термический метод подготовки добавочной воды основан на применении испарительных установок.

При выборе схемы и числа ступеней испарительной установки учитывают как затраты на топливо, так и стоимость испарительной установки.

Для снижения давления и температуры до необходимых значений применяются редукционно-охладительные установки (РОУ). Установки используются для резервирования отборов и противодавления турбин, для резервирования котлов среднего давления и для параллельной работы с ними, для постоянной работы на потребителя, для использования пара при растопке котлов

**Пример 1.** Определить расход греющего пара на получение 1000 кг вторичного пара в одноступенчатом испарителе, если энтальпия греющего пара *h*п = 2700 кДж/кг, температура насыщения греющего пара *t*н = 106 °С, энтальпия вторичного пара *h*и1 = 2690 кДж/кг, температура воды, подаваемой в испаритель, 60 °С, КПД испарителя ηи = 0,97.

**Решение**

Тепловой баланс испарителя без учета продувки по формуле:



где *D*п – расход греющего пара; *h*п = 2700 кДж/кг – энтальпия греющего пара; кДж/кг – энтальпия насыщения конденсата греющего пара, определяется по давлению в отборе. В данном случае – по таблицам Ривкина по температуре насыщения *t*н = 106 °С, которой соответствует давление 0,125 МПа и энтальпия греющего пара; *D*и1 = 1000 кг – количество вторичного пара; *h*и1 = 2690 кДж/кг – энтальпия вторичного пара; кДж/кг – энтальпия воды, поступающей в испаритель.

18

кг.

**Пример 2.** Определить расход греющего пара на подогреватель поверхностного типа, если греющей средой является пар с давлением *P*п = 2,4 МПа и температурой *t*п = 250 °С, а нагреваемой – питательная вода в количестве 310 т/ч. Температура питательной воды перед подогревателем *t*п.в1 = 180 °С. Давление, создаваемое питательным насосом, *P*п.н = 18 МПа. КПД подогревателя ηто = 0,98.

**Решение**

Уравнение теплового баланса для поверхностного подогревателя:



где *h*п = 2882 кДж/кг – энтальпия греющего пара, определяется по *P*п = 2,4 МПа и *t*п = 250 °С; кДж/кг – энтальпия конденсата (дренажа) греющего пара, определяется по состоянию насыщения по *P*п; ηто = 0,98 – КПД подогревателя; *D*п.в = 310 т/ч – расход питательной воды; *h*п.в1 = 772,4 кДж/кг – энтальпия питательной воды перед подогревателем, определяется по температуре *t*п.в1 = 180 °С и давлению, создаваемому питательным насосом; *h*п.в2 = 935,1 кДж/кг – энтальпия питательной воды на выходе из подогревателя, определяется по температуре *t*п.в2 и давлению питательной воды, создаваемому питательным насосом, *P*п.н = 18 МПа.

Температура питательной воды за подогревателем принимается на 3–5 °С ниже температуры насыщения греющего пара:

*t*п.в2 = *t*н – Δ*t* = 221,8 – 4,8 = 217 °С

где *t*н = 221,8 °С – температура насыщения греющего пара при *P*п = 2,4 МПа;

Δ*t* = (3–5) °С – температурный недогрев.

Расход греющего пара т/ч.

**Пример 3.** Определить расход пара на деаэратор питательной воды ДП-225 (*P* = 0,59 МПа, *D*ном = 225 т/ч), если в деаэратор поступает дренаж с ПВД в количестве 50 т/ч с энтальпией 750 кДж/кг и основной конденсат турбины с энтальпией 585 кДж/кг. Энтальпия пара, поступающего в деаэратор, 2920 кДж/кг. Деаэратор работает с номинальной нагрузкой.

**Решение**

*D*о.к

*D*ПВД

*D*п.в

*D*п

|  |  |
| --- | --- |
|  | Для определения расхода пара на деаэратор (подогреватель смешивающего типа) составляем два уравнения: материального (1) и теплового (2) балансов.  *D*п.в = *D*ПВД + *D*о.к + *D*п,  (1)  *D*п.в*h*п.в = *D*ПВД *h*ПВД + *D*о.к*h*о.к + *D*п*h*п.  (2)  Поскольку деаэратор работает с номинальной нагрузкой, то *D*п.в = *D*ном = 225 т/ч. |

Из уравнения материального баланса (1) выражаем *D*о.к:

*D*о.к= *D*п.в – *D*ПВД – *D*п = 225 – 50 – *D*п = 175 – *D*п.

Полученное значение расхода основного конденсата подставляем в уравнение (2):

кДж/кг при давлении в деаэраторе *P* = 0,59 МПа.

225 ⋅ 667 = 50 ⋅ 750 + (175 – *D*п) ⋅ 585 + *D*п ⋅ 2920.

(2)

Решаем уравнение в отношении *D*п – расхода пара на деаэратор:

225 ⋅ 667 = 50 ⋅ 750 + 175 ⋅ 585 – *D*п ⋅ 585 + *D*п ⋅ 2920

т/ч.

Количество основного конденсата, поступающего в деаэратор,

*D*о.к = 175 – 4,37 = 170,63 т/ч.

**Пример 4.** Проверить, пойдет ли процесс деаэрации в вакуумном деаэраторе подпитки котлов с рабочим давлением *P* = 0,008 МПа, если в деаэратор поступает возврат конденсата с производства после конденсатоочистки с температурой 50°С в количестве 500 т/ч и химобессоленная вода с температурой 30 °С в количестве 200 т/ч.

**Решение**

|  |  |
| --- | --- |
| *D*в.к  *D*х.о.в  *D*д.в | Для процесса деаэрации должно соблюдаться условие:    где *D*д.в = *D*х.о.в + *D*в.к = 200 + 500 = 700 т/ч – количество добавочной воды; кДж/кг – энтальпия насыщения конденсата при давлении в деаэраторе *P* = 0,008 МПа.  700 ⋅ 173,9 ≤ 200 ⋅ 4,19 ⋅ 30 + 500 ⋅ 4,19 ⋅ 50  121730 < 129890.  Процесс деаэрации пойдет нормально. |

**Пример 5.** Определить расход пара на поверхностный регенеративный подогреватель со съемом перегрева и переохлаждением конденсата, если давление пара у подогревателя *P*1 = 2,33 МПа, энтальпия греющего пара *h*1 = 3120 кДж/кг, КПД подогревателя ηп = 0,98. Расход питательной воды 300 т/ч; давление, создаваемое питательным насосом, *P*п.н = 20 МПа. Температура питательной воды *t*п.в2 = 190 °С .

**Решение**

*D*1, *P*1, *h*1

*D*п.в, *сt*п.в1



*сt*др

*сt*п.в2

ОП

СП

ОК





ОП – охладитель пара; СП – собственно подогреватель; ОК – охладитель конденсата

1. Энтальпия пара после ОП

кДж/кг,

где кДж/кг – энтальпия сухого насыщенного пара при *P*1 = 2,33 МПа.

2. кДж/кг – энтальпия конденсата греющего пара при *P*1 = 2,33 МПа.

3. Температура дренажа после ОК принимается на 10 °С выше, чем температура питательной воды перед ОК:  *t*др = *t*п.в2 + 10 = 190 + 10 = 200 °C.

4. Энтальпия дренажа после ОК *ct*др = 4,19 ⋅ 200 = 836 кДж/кг.

5. Температура питательной воды после СП

°С,

где *t*н1 – температура насыщения конденсата греющего пара при давлении *P*1 = 2,33 МПа;   
 Δ*t* = 5 °С – температурный недогрев; принимается.

6. Энтальпия питательной воды после СП



кДж/кг при

7. Энтальпия питательной воды перед ОК



кДж/кг при

8. Уравнение теплового баланса для ОП:



(1)

9. Уравнение теплового баланса для СП + ОК:



(2)

Решаем уравнение (2) в отношении *D*1:

т/ч.

Решаем уравнение (1) в отношении *ct*п.в1:



21

По таблицам при давлении питательного насоса *P*п.н = 20 МПа и по энтальпии *ct*п.в1 = 943 кДж/кг определяем температуру питательной воды *t*п.в1 = 219 °С.

За счет применения охладителя пара (ОП) удалось подогреть питательную воду на 4 °С больше, чем в обычном подогревателе: *t*п.в1 = 219 °С, °С.

**ЗАДАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ 2**

После изучения теоретических основ данного материала и разбора решений типовых задач необходимо решить предложенные задачи и ответить на теоретические вопросы.

**Задача 1.** Определить количество отсепарированного пара в первой ступени расширителя, если давление в расширителе *P*р = 0,69 МПа. Количество продувочной воды, поступающей в расширитель, 5 т/ч. Давление в барабане котла *P*б = 15 МПа.

**Задача 2.** Определить расход свежего пара на РОУ производительностью 250 т/ч. Параметры свежего пара *P*0 = 14 МПа, *t*0 = 570 °C. Параметры редуцированного пара *P* = 1,5 МПа, *t* = 250 °C. Для снижения температуры редуцированного пара подается вода с питательного насоса: *P*п.н = 18 МПа, *t*п.в = 190 °С.

**Задача 3.** Найти повышение энтальпии питательной воды в питательном насосе (основном и предвключенном), если в нем производится сжатие воды от давления в деаэраторе *P*д = 0,69 МПа до *P*н = 34 МПа. Удельный объем воды при среднем давлении в питательном насосе (основном и предвключенном) *v*ср = 0,0011 м3/кг. Принять КПД группы питательных насосов ηн*i* = 0,85.

24

**Задача 4.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Определить расход пара *D*4  на ПНД поверхностного типа, если известны:      *D*4 – ?  *P*4/*t*4    *D*ок  *P*4 = 0,42 МПа; *P*кн = 1,5 МПа;  *t*4 = 190 °С; °С;  *D*ок = 150 т/ч; ηп = 0,98;  Δ*t* = 4 °С. | |

**Задача 5.** Составить уравнение теплового баланса для расчёта регенеративных подогревателей высокого давления (ПВД), указанных на схеме





*D*1, *h*1











*D*пв

*D*2, *h*2

*D*3, *h*3

**Задача 6.** Определить, на сколько увеличится термический КПД регенеративного цикла в результате понижения конечного давления. Начальные параметры пара *P*0 = 13 МПа, *t*0 = 560 °C, давление отработавшего пара *P*к = 0,1 МПа. В результате понижения давления располагаемый перепад тепла увеличился на 200 кДж/кг. Найти также новое значение конечного давления.

**Задача 7.** Определить расход пара на деаэратор питательной воды ДП-500 (*P*д = 0,59 МПа, *D*н = 500 т/ч), если в деаэратор поступает дренаж ПВД в количестве 40 т/ч с энтальпией 700 кДж/кг, основной конденсат турбины с энтальпией 600 кДж/кг. Энтальпия пара, поступающего на деаэратор, – 2900 кДж/кг. Нагрузка деаэратора номинальная.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие виды регенеративных подогревателей вы знаете? Каковы их конструктивные особенности?

2. С чем связан температурный недогрев в поверхностных подогревателях?

3. В чем состоят достоинства смешивающих подогревателей?

4. Каковы основные схемы возврата дренажей ПВД и ПНД в цикл?

5. В результате чего может произойти повышение уровня в ПВД?

6. Какие виды деаэрации питательной воды вы знаете?

7. В результате чего может произойти снижение уровня в деаэраторном баке?

8. Как включается деаэратор питательной воды по пару?

9. Сравнительная характеристика электропривода и турбопривода питательных насосов.

10. Какие утечки пара и конденсата на ТЭС следует отнести к внешним, а какие – к внутренним потерям?

11. Как борются с потерями пара и конденсата на станции, где вы работаете?

12. Какие существуют схемы включения испарительных установок в тепловую схему станции?

13. Какие способы ввода добавочной воды в тепловую схему станции вы знаете?

14. Назначение и принцип действия РОУ.

Практическое занятие 3

**Тепловой расчёт принципиальной тепловой схемы конденсационного блока**

**Учебная цель**:

- изучить основное содержание, основы составления и методику расчёта принципиальной тепловой схемы КЭС;

- получить практические навыки расчёта принципиальных тепловых схем конденсационных блоков.

Продолжительность занятия - 6 часов.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь**:

- демонстрировать навыки чтения принципиальных схем КЭС;

- составлять принципиальную тепловую схему конденсационного энергоблока .

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:

- основные составляющие принципиальной тепловой схемы энергоблока КЭС;

- методику расчёта принципиальной тепловой схемы энергоблока КЭС.

**Рекомендуемые информационные источники:**

1.Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов,

Д.П. Елизаров и др.; под. ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Санаева. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.; ил.; 24 см. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00404-3.

2. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн.1. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / под общ. Ред. Член – корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереот. – М.:Издательский дом МЭИ, 2007. – 528, [1] с.; 26,5 см. – 3000 экз. – ISBN 978-5-383-00016-8.

3. Сушкова И.П. Расчёт тепловых схем ТЭС. Методические указания к практическим занятиям. – Иваново: ВЗЭК, 2002 – 36с.; ил.

4. Паротурбинные энергетические установки: отраслевой каталог. – М.: ЦНИИтяжмаш, 1988 -16 бр.: схем. в папке; 30 см.

5. Александров А.А. Григорьев Б.А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. Рек. Гос. Службой стандартных справочных данных. ГСССД Р-776-98. – 2-е изд., стереот. - Издательский дом МЭИ, 2006. – 168 с.; ил.; 26 см. – 5000 экз. – ISBN 5-903072-43-7.

**Технические средства обучения:**

1. Электрифицированный стенд «Тепловая схема блока 800 МВт».

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРИМЕР РАСЧЁТА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ БЛОКА 800 МВт**

Принципиальная тепловая схема (ПТС) электростанции определяет основное содержание технологического процесса преобразования тепловой энергии на электростанции. Она включает основное вспомогательное теплоэнергетическое оборудование, участвующее в осуществлении этого процесса и входящее в состав пароводяного тракта электростанции.

*Принципиальная тепловая схема КЭС* ввиду блочной структуры электростанции является ПТС энергоблока.

Основными исходными данными для расчета тепловой схемы являются тип турбоустановки, электрическая и тепловая нагрузки, начальные и конечные параметры пара, параметры теплоносителя. Дополнительные исходные данные, например, число регенеративных отборов, температура питательной воды, число ступеней подогрева сетевой воды, давление и температура пара в нерегулируемых отборах, величина непрерывной продувки котла, тип привода питательного насоса и т. п., выбираются на основании разработанных типовых схем турбоустановок и обосновываются при проектировании.

В результате расчета принципиальной тепловой схемы определяются величины потоков пара и воды, электрическая мощность турбоустановки.

Расчет тепловой схемы конденсационного энергоблока выполняется *в долях от принятого расхода пара на турбину*.

Расчет принципиальной тепловой схемы выполняют в определенной последовательности.

*Первый этап* расчета заключается в построении *h*, *s*-диаграммы процесса работы пара в турбине.

*Второй этап,* как и первый, носит подготовительный характер и имеет целью составление сводной таблицы параметров пара и воды в тепловой схеме турбоустановки.

*Третий этап* заключается в составлении, последовательном и совместном решении уравнений теплового баланса теплообменников принципиальной тепловой схемы с целью определения расходов пара на них и уточнения некоторых параметров схемы. Это важнейший этап расчета принципиальной тепловой схемы.

*На четвертом этапе* расчета при турбинном приводе питательного насоса составляется уравнение мощности насоса и определяется расход пара на приводную турбину.

*На пятом этапе* в качестве проверки правильности расчета необходимо определить электрическую мощность отдельных потоков пара, проходящих через проточную часть турбины. Суммарная мощность по потокам пара должна быть равна полной мощности турбины. Расхождение в значениях мощности, полученной в расчете и принятой по типу турбоустановки, не должно превышать 1 %.

**Пример расчета тепловой схемы конденсационного блока 800 МВт**

1. **Тепловая схема энергоблока (рисунок 1.1)**

Энергоблок 800 МВт состоит из прямоточного котла производительностью 2650 т/ч и одновальной конденсационной турбоустановки К-800-23.5-5 сверхкритических параметров пара с газовым промежуточным перегревом пара. Турбина имеет пять цилиндров.

Свежий пар через группу стопорных и регулирующих клапанов поступает в противоточный ЦВД, после чего направляется в промежуточный перегреватель парового котла. После промежуточного перегрева пар подводится через стопорные и регулирующие клапаны в двухпоточный ЦСД, из ЦСД отводится в три двухпоточных цилиндра низкого давления, выхлопы которых присоединены к двухкорпусному прямоточному конденсатору.

Турбина имеет восемь нерегулируемых отборов пара, предназначенных для подогрева питательной воды (основного конденсата) в четырех ПНД и трех ПВД. Смешивающие ПНД-1 и ПНД-2 выполнены по схеме с перекачивающими насосами, ПНД-3 и ПНД-4 – поверхностного типа.

Отсутствие в схеме деаэратора позволяет использовать греющий пар 4-го отбора для нужд теплофикации.

Питательная установка имеет конденсационный турбопривод, питаемый паром 3-го отбора. Конденсат турбопривода направляется в основной конденсатор.

Дренажи ПВД-8 и ПВД-7 каскадно сливаются в смеситель. Дренаж ПВД-6 поступает в ПНД-4. Каскад дренажей ПНД завершается в смешивающем ПНД-2.

Теплофикационная установка состоит из двух подогревателей сетевой воды (основного и пикового), пар на которые отбирается из 4-го и 6-го отборов турбины. Слив конденсата из подогревателей сетевой воды – каскадный в конденсатор турбины через расширитель.

Химобессоленная вода для восполнения потерь в схеме блока подается в конденсатор турбины через расширитель.

**2**.**Условия расчёта**

Номинальная электрическая мощность турбогенератора блока 800 МВт.

Номинальные значения основных параметров турбины

Начальные параметры пара

давление, МПа – 23,5

температура, °С – 540

Параметры пара за ЦВД

давление, МПа – 3,78

температура, °С – 286

Параметры пара после промежуточного перегрева

В конденсатор

КН-II

КН-III

СМ

В т/с

ПСП

В к-р

ПС-1

# б

КН-I

3 ЦНД

G

YY

# Ц

Рисунок 1.1 Тепловая схема блока 800 МВт

ЦВД

ЦСД

К

БОУ

ОСП

ПС-2

ПТН

давление, МПа – 3,34

температура, °С – 540

Давление пара в конденсаторе, кПа – 3,4

Температура питательной воды, °С – 274

Производительность теплофикационной установки блока 590 ГДж/ч с температурой до 150 °С.

Таблица 2.1. Характеристика отборов пара

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Отбор | Потребитель пара | Параметры пара в камере отбора | |
| давление, МПа | температура, °С |
| 1 | ПВД-8 | 6,05 | 343 |
| 2 | ПВД-7 | 3,78 | 286 |
| 3 | ПВД-6 | 1,64 | 442 |
| 3 | Турбоприводы | 1,64 | 442 |
| 4 | ПСП | 1,08 | 385 |
| 5 | ПНД-4 | 0,59 | 311 |
| 6 | ПНД-3, ОСП | 0,28 | 231 |
| 7 | ПНД-2 | 0,11 | 147 |
| 8 | ПНД-1 | 0,02 | 60 |

Падение давления от камеры отбора до подогревателя не учитывать.

Расход пара на подогреватели определяется без разделения их поверхностей нагрева на зоны. Протечки через концевые уплотнения турбины, штоки клапанов не учитываются. Нагрев воды в конденсатных насосах и охладителях пара с уплотнений не учитывается.

**3. Построение процесса расширения пара в турбине (рисунок 3.1)**

Энтальпия пара перед турбиной находится по параметрам свежего пара перед стопорными клапанами турбины *P*0 = 23,5 МПа, *t*0 = 540 °С, *h*0 = 3324 кДж/кг.

Давление пара перед соплами регулирующей ступени

 МПа,

где – КПД дросселирования, учитывающий потери давления пара в стопорных и регулирующих клапанах.

Точка состояния пара в первом отборе турбины определяется на *h*, *s*-диаграмме по значениям давления и температуры из таблицы 2.1.

*P*1 = 6,05 МПа, *t*1 = 343 °С, *h*1 = 3018 кДж/кг.

Энтальпия пара второго отбора (на выходе из ЦВД) соответствует значениям   
 *P*2 = 3,78 МПа, *t*2 = 286 °С, *h*2 = 2928 кДж/кг.

Параметры пара после промежуточного перегрева  МПа, °С соответствуют значению энтальпии пара в начале процесса расширения в ЦСД. По *h*, *s*-диаграмме  кДж/кг.

Точка состояния пара в третьем отборе находится по значениям параметров 3-го отбора *P*3 = 1,64 МПа, *t*3 = 442 °С, *h*3 = 3344 кДж/кг.

Точки состояния пара в четвертом, пятом, шестом и седьмом отборах определяются на *h*, *s*-диаграмме аналогичным путем.

Энтальпия пара отборов:

*h*4 = 3232 кДж/кг,

*h*5 = 3084 кДж/кг

*h*6 = 2932 кДж/кг,

*h*7 = 2768 кДж/кг.

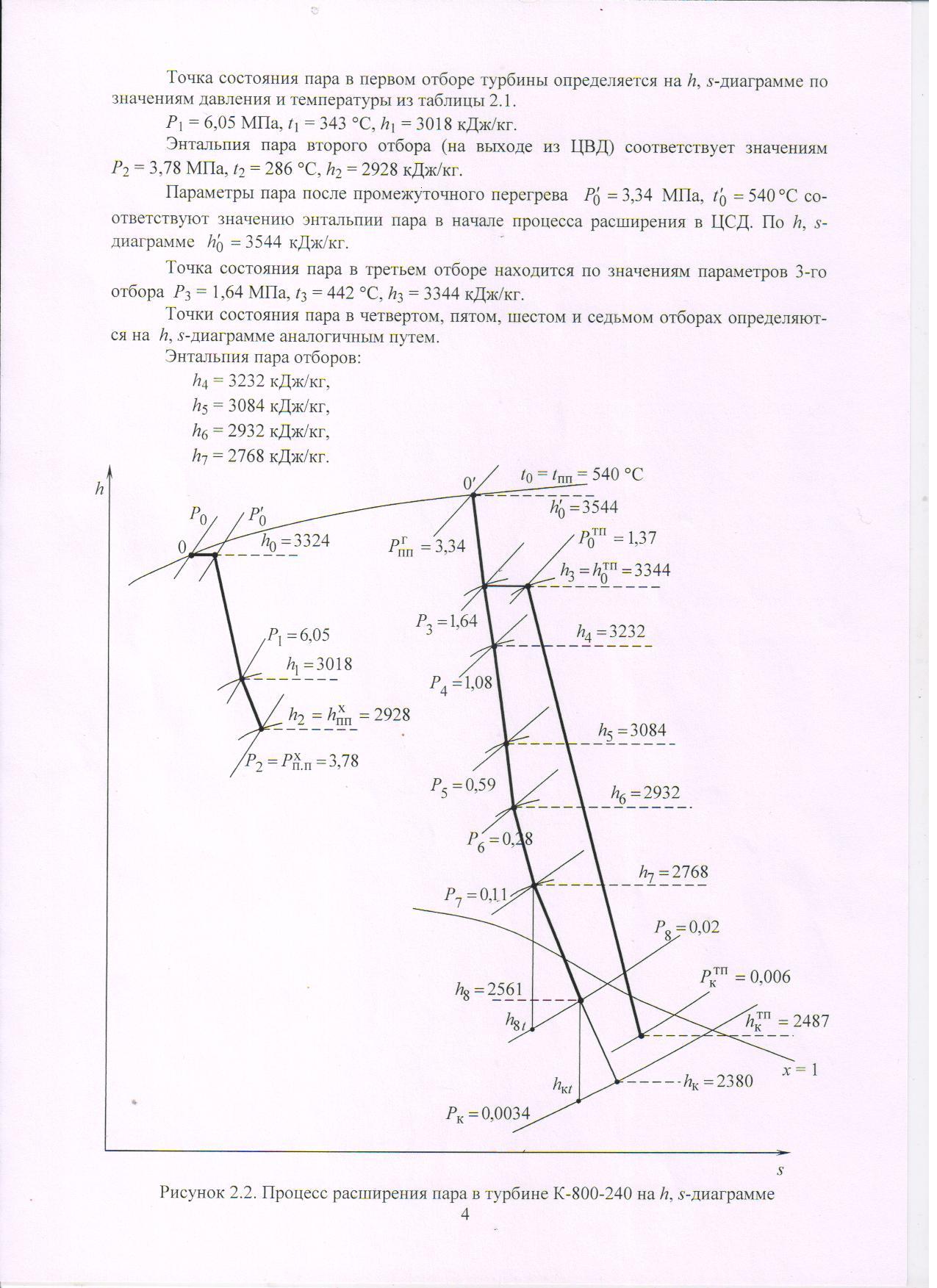


Рисунок 3.1 Процесс расширения пара в турбине К-800-23,5 на *h,s-*диаграмме

Построение процесса расширения пара в турбине от седьмого отбора до конденсатора в области влажного пара выполняется по КПД этого отсека проточной части ЦНД. Для номинального режима турбин К значение внутреннего относительного КПД составляет 0,74–0,76.

Энтальпия пара восьмого отбора

 кДж/кг.

Энтальпия пара в конце процесса расширения пара в турбине

 кДж/кг.

Пар на турбопривод поступает с 3-го отбора, тогда давление пара до приводной турбины питательного и бустерного насосов с учетом дросселирования МПа, после приводной турбины кПа. Энтальпии пара соответственно равны  кДж/кг,  кДж/кг, внутренний относительный КПД приводных турбин типа К ηо*i* = 0,8–0,82.

**4. Составление сводной таблицы расчетных параметров воды и пара**

Температура регенеративного подогрева питательной воды принята 274 °С. Температура питательной воды и основного конденсата после регенеративного подогревателя при отсутствии охладителя пара принимается меньше температуры насыщения пара в подогревателе на 3–5 °С для ПВД и на 1,5–3 °С для ПНД. Недогрев воды в смешивающем подогревателе принят равным δ*t* = 0. Энтальпия основного конденсата за ПНД определяется по температуре основного конденсата за ПНД и давлению, создаваемому конденсатным насосом. Без большой погрешности энтальпию конденсата можно определить как произведение теплоемкости воды *с* = 4,19 кДж/кг ⋅град на ее температуру: .

Энтальпия конденсата при давлении в конденсаторе *P*к = 0,0034 МПа  кДж/кг, температура *t*к = 26 °С.

Температура конденсата перед ПНД-1 принимается равной температуре насыщения пара в конденсаторе (нагрев в СП незначителен).

Энтальпию воды за ПНД-1 определяем из таблиц теплофизических свойств пара и воды по давлению пара в подогревателе *P*8 = 0,02 МПа и температуре воды в нем   
 *t*1 = *t*н = 60 °С:  кДж/кг.

Температура и энтальпия основного конденсата за ПНД-2 по аналогии с ПНД-1 при *P*7 = 0,11 МПа: *t*2 = *t*н = 102 °С,  кДж/кг.

Энтальпия воды за поверхностным ПНД-3 определяется из таблиц теплофизических свойств пара и воды при давлении воды в ПНД-3 *P*6 = 0,28 МПа и температуре основного конденсата *t*3 = 128 °С (недогрев принят δ*t* = 3 °С):  кДж/кг.

По аналогии с ПНД-3 температура и энтальпия основного конденсата после ПНД-4 при *P*5 = 0,59 МПа: *t*4 = 155 °С,  кДж/кг.

Энтальпия питательной воды за ПВД-8 определяется по давлению питательной воды *P*пн = 34 МПа и температуре питательной воды на выходе из системы регенерации °С:  кДж/кг.

Энтальпия питательной воды за ПВД-7 при *P*пн = 34 МПа и °С (недогрев принят δ*t* = 4 °С)  кДж/кг.

Аналогично энтальпия питательной воды за ПВД-6 при *P*пн = 34 МПа и °С  кДж/кг.

Для поверхностных подогревателей количество тепла, отданное паром отбора в каждом подогревателе, Δ*h* = *h* – τ , кДж/кг (строка 4 таблицы 4.1).

Δτ – количество тепла, отданное каждым килограммом конденсата греющего пара поверхностного подогревателя при его каскадном сливе из подогревателя с более высоким давлением греющего пара основному конденсату или питательной воде в рассматриваемом подогревателе. Например,

Δτ12 = τ1 – τ2 = 1216 – 1071 = 145 кДж/кг и т. д. (строка 5 таблицы 4.1).

Нагрев воды в регенеративном подогревателе по условию неравномерного подогрева

 кДж/кг и т. д. (строка 8 таблицы 4.1).

Параметры пара и воды сведены в таблицу 4.1.

**5. Расчет тепловой схемы**

Расход свежего пара на турбину принимается за единицу *D*0 = 1, остальные потоки пара и воды выражаются в долях от *D*0.

Расход питательной воды *D*пв = *D*0 + *D*ут.

Разделив это выражение на *D*0, получим

αпв = 1 + αут,

где – величина утечки.

Доля отбора пара на приводную турбину питательной установки

,

где  кДж/кг;

*P*н, *P*в – давление на выходе и входе питательного насоса, соответственно, МПа;

*v*ср ≈ 0,0011 м3/кг – среднее значение удельного объема питательной воды в питательном насосе;

– полезно использованный теплоперепад турбопривода,

 кДж/кг.

ηн = 0,83 – КПД насоса;

– механический КПД приводной турбины.

.

Уравнение теплового баланса для ПВД-8:

α1 Δ*h*1 η = αпв Δ,

где η = 0,99 – КПД подогревателя; показывает долю тепла пара отбора, пошедшего на подогрев нагреваемой среды.

Доля расхода пара на ПВД-8

.

Уравнение теплового баланса для ПВД-7:

α2 Δ*h*2 η + α1 Δτ12 η = αпв Δ.

Доля расхода пара на ПВД-7

.

Уравнение теплового баланса для ПВД-6:

.

α5





СМ

αпв

αк 2

α1+α2

α3

αтп

Рисунок 5.1

Энтальпия питательной воды за питательной установкой

,

где  – энтальпия питательной воды за смесителем.

Таблица 4.1 Сводная таблица расчетных параметров пара и воды

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Точка процесса пара | 0 | 1 | 2 | 0′ | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | к |
| Точка процесса воды |  | 8 | 7 |  | 6 | ПСП | 4 | 3 | 2 | 1 | к |
| Давление пара в отборах турбины ***P***, МПа | 23,5 | 6,05 | 3,78 | 3,34 | 1,64 | 1,08 | 0,59 | 0,28 | 0,11 | 0,02 | 0,0034 |
| Энтальпия пара ***h***, кДж/кг | 3324 | 3018 | 2928 | 3544 | 3344 | 3232 | 3084 | 2932 | 2768 | 2561 | 2380 |
| Энтальпия конденсата греющего пара подогревателей **τ**, кДж/кг | – | 1216 | 1071 | – | 864 | 778 | 668 | 551 | 429 | 251 | 110 |
| Количество тепла, отданное 1 кг пара в подогревателе, **Δ*h***, кДж/кг | – | 1802 | 1857 | – | 2480 | 2454 | 2416 | 2381 | – | – | – |
| Количество тепла, отданное 1 кг конденсата верхнего отбора при каскадном сливе, **Δτ**, кДж/кг | – | – | 145 | – | – | – | 196 | 117 | 122 | – | – |
| Температура конденсата и питательной воды за подогревателем ***t***, °С | – | 274 | 243 | – | 199 | – | 155 | 128 | 102 | 60 | 26 |
| Энтальпия питательной воды и основного конденсата за подогревателями , кДж/кг | – | 1201 | 1058 | – | 863 | – | 650 | 536 | 429 | 251 | 109 |
| Подогрев воды в регенеративном подогревателе , кДж/кг | – | 143 | 195 | – | – | – | 114 | 107 | 178 | 142 | – |

Повышение энтальпии воды в питательном насосе

 кДж/кг,

где – КПД группы питательных насосов; .

Энтальпию питательной воды за смесителем определяем из уравнения теплового баланса смесителя:

,

где  – расход основного конденсата за ПНД-4; можно представить в виде

= αпв – (α1 + α2) = 1,01 – 0,081 – 0,1008 = 0,8282.

Тогда кДж/кг.

Энтальпия питательной воды перед ПВД-6

 кДж/кг.

Доля расхода пара на ПВД-6

.

Уравнение теплового баланса для ПНД-4:

.

Доля расхода пара на ПНД-4

.

Доля расхода пара на ПНД-3 из уравнения теплового баланса для ПНД-3

.

.

Уравнение теплового баланса для смешивающего ПНД-2:

.

Расход основного конденсата через ПНД-2











.

Уравнение теплового баланса для смешивающего ПНД-1:

,

где ,

тогда получим долю расхода пара на ПНД-1







Расход пара на пиковый сетевой подогреватель, подключенный к четвертому отбору, при покрытии им 25% теплофикационной нагрузки блока

 ГДж/ч = 147,5 ГДж/ч,

т/ч =17,04 кг/с.

Расход пара на основной сетевой подогреватель, подключенный к шестому отбору,

 = 51,05 кг/с.

Подсчет коэффициентов недовыработки мощности паром отборов

Коэффициент недовыработки мощности паром первого отбора на

ПВД-8



Коэффициент недовыработки мощности паром 2-го отбора на ПВД-7



Коэффициент недовыработки мощности паром 3-го отбора на ПВД-6



Коэффициент недовыработки мощности паром 5-го отбора на ПНД-4



Коэффициент недовыработки мощности паром 6-го отбора на ПНД-3 и ОСП



Коэффициент недовыработки мощности паром 7-го отбора на ПНД-2



Коэффициент недовыработки мощности паром 8-го отбора на ПНД-1



Коэффициент недовыработки мощности паром, идущим на турбопривод,



Расход свежего пара на турбину

,

где сумма произведений долей расхода пара в отборы на коэффициент недовыработки мощности этими отборами



тогда  кг/с.

Расходы пара в отборы

на ПВД-8  кг/с;

ПВД-7  кг/с;

ПВД-6  кг/с;

на турбопривод питательного насоса  кг/с;

на пиковый сетевой подогреватель  кг/с;

на ПНД-4  кг/с;

ПНД-3  кг/с;

на основной сетевой подогреватель  кг/с;

на ПНД-2  кг/с;

ПНД-1  кг/с.

Пропуск пара в конденсатор



Баланс мощностей

Мощность потоков пара в турбине

первого отбора

 кВт,

второго отбора

 кВт,

третьего отбора

 кВт,

четвертого отбора

 кВт,

пятого отбора

 кВт,

шестого отбора

 кВт,

седьмого отбора

 кВт,

восьмого отбора

 кВт.

Мощность потока пара турбопривода



Мощность конденсационного потока

 кВт.

Сумма мощностей потоков пара в турбине

+ 16777,4 + 12064,3 + 22196,1 + 75872,2 + 38090 + 38418,9 + 25357,2 + 532974 = 807967,3 кВт.

Мощность на зажимах генератора

 кВт ≈ 800 МВт.

Допустимая погрешность расчета не более 1 %.

**ЗАДАНИЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ 3**

После изучения теоретических основ данного материала и рассмотрения примера расчёта тепловой схемы блока необходимо составить тепловую схему блока 210 МВт и выполнить её расчёт.

Энергоблок 210 МВт состоит из барабанного котла производительностью 670 т/ч и одновальной конденсационной турбоустановки К-210-12,8 с газовым промежуточным перегревом пара. Турбина имеет три цилиндра.

1

Свежий пар через группу стопорных и регулирующих клапанов поступает в однопоточный ЦВД, после чего направляется в промежуточный перегреватель парового котла. После промежуточного перегрева пар подводится через стопорные и регулирующие клапаны в однопоточный ЦСД, из ЦСД отводится в двухпоточный цилиндр низкого давления, выхлопы которого присоединены к двухкорпусному конденсатору.

Турбина имеет семь нерегулируемых отборов пара, предназначенных для ступенчатого подогрева питательной воды (основного конденсата) в четырех ПНД, деаэраторе и трех ПВД до температуры 242°С. Все ПНД поверхностные, ПНД-1 - встроен в конденсатор.

Деаэратор повышенного давления питается паром 3 отбора турбины. Питательная установка с электроприводом.

Дренажи ПВД каскадно сливаются в деаэратор питательной воды. Каскад дренажей ПНД завершается в ПНД-2, откуда сливным насосом направляются в линию основного конденсата за ПНД-2.

Теплофикационная установка состоит из двух подогревателей сетевой воды (основного и пикового), пар на которые отбирается из 4-го и 5-го отборов турбины. Слив конденсата из подогревателей сетевой воды – каскадный в конденсатор турбины через расширитель.

Химобессоленная вода для восполнения потерь в схеме блока подается в конденсатор турбины через расширитель.

**Условия расчёта**

Номинальная электрическая мощность турбогенератора блока 210 МВт.

Номинальные значения основных параметров турбины

Начальные параметры пара

давление, МПа – 12,8

температура, °С – 540

Параметры пара за ЦВД

давление, МПа – 3,78

температура, °С – 286

Параметры пара после промежуточного перегрева

давление, МПа – 3,34

температура, °С – 540

Давление пара в конденсаторе, кПа – 4

Температура питательной воды, °С – 242

Производительность теплофикационной установки блока 65 ГДж/ч с температурой до 130 °С.

Таблица 2.1. Характеристика отборов пара

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Отбор | Потребитель пара | Параметры пара в камере отбора | |
| давление, МПа | температура, °С |
| 1 | ПВД-7 | 6,05 | 343 |
| 2 | ПВД-6 | 3,78 | 286 |
| 3 | ПВД-5, Дпв | 1,64 | 442 |
| 4 | ПНД-4, ПСП | 1,64 | 442 |
| 5 | ПНД-3, ОСП | 1,08 | 385 |
| 6 | ПНД-2 | 0,59 | 311 |
| 7 | ПНД-1 | 0,28 | 231 |

Падение давления от камеры отбора до подогревателя не учитывать.

Расход пара на подогреватели определяется без разделения их поверхностей нагрева на зоны. Протечки через концевые уплотнения турбины, штоки клапанов не учитываются. Нагрев воды в конденсатных насосах и охладителях пара с уплотнений не учитывается.

Практическое занятие 4

**Выбор основного и вспомогательного оборудования**

**пароводяного тракта КЭС согласно Нормам технологического проектирования ТЭС**

**Учебная цель**:

- ознакомить студентов с требованиями ПТЭ и НТП к выбору основного и вспомогательного оборудования пароводяного тракта ТЭС;

- получить практические навыки работы с Нормами технологического проектирования ТЭС.

Продолжительность занятия - 2 часа.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- читать технологические и полные схемы конденсационных электрических станций;

- выбирать основное и вспомогательное оборудование пароводяного тракта ТЭС согласно Нормам технологического проектирования КЭС;

- демонстрировать навыки оценки эффективности работы выбранного оборудования электрической станции.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:

- содержание технологических и полных схем конденсационных электрических станций;

- требования Норм технологического проектирования ТЭС к выбору основного и вспомогательного оборудования пароводяного тракта КЭС;

- условия выбора единичной мощности блоков КЭС и вспомогательного оборудования турбинной установки.

**Рекомендуемые информационные источники:**

1. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций.- ВНТП-Т-88 Минэнерго СССР, - М.: ЦНТП Информэнерго, 1988. – 252 с.

2. Правила технической эксплуатации тепловых электрических станций и сетей Российской Федерации. Министерство энергетики РФ. – М.: ЗАО «Энергосервис», 2003. – 368 с. ISBN 5-900835-66-9.

3. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под. ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Санаева. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.; ил.; 24 см. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00404-3.

4.Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А Ниренштейн; под общ. ред. Ю.М. Бродова.-М.:Издательский дом МЭИ, 2008.- 480 с.; ил. ISBN 978-5-383-00079-3/

1. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн.1. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / под общ. Ред. Член – корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереот. – М.:Издательский дом МЭИ, 2007. – 528, [1] с.; 26,5 см. – 3000 экз. – ISBN 978-5-383-00016-8.

**Технические средства обучения:**

Электрифицированный стенд «Тепловая схема блока 800 МВт».

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ**

**РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

Мощности проектируемых электростанций выбираются на основе технико-экономических расчётов, сопоставления вариантов с учётом плотности графиков потребления электроэнергии, топливной базы, условий водоснабжения, экологии. Мощность электростанции определяется также единичной мощностью энергоблоков. При выборе единичной мощности энергоблоков надо сравнивать возможные варианты по расчётным затратам с учётом затрат на аварийных резерв мощности в энергосистеме, обеспечивающий заданный уровень надёжности электроснабжения.

На крупных паротурбинных электростанциях с промежуточным перегревом пара устанавливаются, как правило, моноблоки.

Паропроизводительность паровых котлов энергоблока выбирается по максимальному расходу пара на турбину с запасом 3%, учитывая гарантийный допуск, возможное ухудшение вакуума, снижение параметров пара в допустимых пределах, потери пара на пути от парового котла к турбине.

Питательные установки являются важнейшими из вспомогательных машин паротурбинной электростанции; их рассчитывают на подачу питательной воды при максимальной мощности блока с запасом не менее 5%. В отечественных энергоблоках с давлением пара 13,8 МПа применяют питательные электронасосы. В энергоблоках с давлением пара 24 МПа мощностью 300 МВт применяют по одному рабочему питательному насосу полной подачи с приводом от паровой турбины с противодавлением и один пускорезервный электронасос. Для энергоблоков 500, 800 и 1200 МВт устанавливают с целью разгрузки выхлопных частей главных турбин питательные насосы с конденсационной приводной турбиной, по два рабочих турбонасоса, каждый по 50% полной подачи с резервированием подвода пара к приводной турбине. Бустерные насосы в этих энергоблоках имеют общий с главным питательным насосом привод от турбины.

Конденсатные насосы выбирают в минимальном по возможности числе и соответственно один резервный. Общую подачу определяют по наибольшему пропуску пара в конденсатор с учётом регенеративных отборов. При прямоточных котлах применяют химическое обессоливание конденсата турбины, поэтому устанавливают конденсатные насосы двух ступеней: после конденсатора турбины с небольшим напором и после обессоливающей установки с напором, необходимым для подачи конденсата через поверхностные ПНД в деаэратор питательной воды.

При выполнении части ПНД смешивающими (контактными) после них требуется дополнительный перекачивающий насос. К перекачивающим насосам требуются резервные насосы.

Дренажные (сливные) насосы конденсата из регенеративных подогревателей устанавливаются без резерва, при этом выполняют резервную линию каскадного слива дренажа в соседний РП более низкого давления.

Регенеративные подогреватели устанавливают индивидуально у каждой турбины, без резерва. Обычно принимают по одному корпусу в каждой ступени подогрева.

Деаэратор питательной воды принимают возможно большей пропускной способности. На энергоблок устанавливают, по возможности, один деаэратор. Объём баков деаэрированной воды рассчитывают на 3,5 минутный запас воды на КЭС блочной структуры.

Испарительные установки для возмещения внутренних потерь пара и конденсата устанавливают индивидуально у каждой турбины.

Необходимо ознакомиться с Нормами технологического проектирования ТЭС и другими нормативными материалами, на основании которых производится выбор оборудования пароводяного блока.

Следует внимательно разобрать приведённые примеры выбора оборудования, так как вопросами выбора основного и вспомогательного оборудования предстоит заниматься при выполнении дипломного проекта.

**Пример 1.** Выбрать марку расширителя (сепаратора) непрерывной продувки (РНП) первой ступени, если известно, что количество пара, образовавшегося в расширителе, т/ч, давление в расширителе МПа.

**Решение**

Выбор расширителей производится по объему образующегося в расширителе пара при норме напряжения объема расширителя 1000 м3/м3 (1000 м3 образующегося пара в час на 1 м3 полезного объема расширителя).

Объем пара, образующегося в расширителе первой ступени,

м3/ч,

где *v*″ = 0,27274 м3/кг – удельный объем сухого насыщенного пара при давлении 0,7 МПа.

Необходимый объем расширителя I ступени

м3,

где H = 1000 м3/м3 – норма напряжения парового объема расширителя.

В соответствии со справочными данными выбирается тип расширителя непрерывной продувки I ступени СП-0,7. Емкость расширителя – 0,7 м3, наружный диаметр корпуса – 630 мм.

**Пример 2.** Определить необходимую емкость бака деаэратора ДП-1000, установленного для деаэрации питательной воды конденсационного блока с барабанным котлом производительностью т/ч. Считать, что расход питательной воды на продувку согласно ПТЭ составляет 1% от паропроизводительности котла, расход пара на собственные нужды блока считать 1%.

**Решение**

Расход питательной воды на блок

т/ч,

где αпрод и βс.н – соответственно расход питательной воды на продувку и пара на собственные нужды блока в долях от паропроизводительности котла.

Согласно п. 6.11 [1] суммарный запас питательной воды в баках основных деаэраторов должен обеспечить работу блочных электростанций в течение не менее 3,5 мин, поэтому минимальная полезная вместимость деаэраторного бака (БДП)

м3,

где *v* = 1,1 м3/т – удельный объем воды.

Выбираем для деаэратора ДП-1000 по [5] деаэраторный бак БДП-100   
ГОСТ 16860-77 повышенного давления полезной вместимостью 100 м3.

**Пример 3.** Найти повышение энтальпии питательной воды в питательном насосе (основном и предвключенном), если в нем производится сжатие воды от давления в деаэраторе *P*д = 0,69 МПа до *P*н = 34 МПа. Удельный объем воды при среднем давлении в питательном насосе (основном и предвключенном) *v*ср = 0,0011 м3/кг. Принять КПД группы питательных насосов ηн*i* = 0,85.

**Решение**

Повышение энтальпии воды в питательном насосе

кДж/кг.

**ЗАДАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ 4**

После изучения теоретических основ данного материала и разбора решений типовых задач необходимо решить предложенные задачи и ответить на теоретические вопросы.

**Задача 1.** Выбрать тип и количество турбин «К» для установки на проектируемой ГРЭС, если установленная мощность станции Nэ = 2400 МВт.

**Задача 2.** Выбрать марку расширителя (сепаратора) непрерывной продувки (РНП) второй ступени, если известно, что количество пара, образовавшегося во второй ступени расширителя т/ч, давление в расширителе МПа.

**Задача 3.** Определить тип деаэратора питательной воды, установленного для деаэрации питательной воды блока ТЭС с котлом паропроизводительностью т/ч. Считать, что расход питательной воды на продувку согласно ПТЭ составляет 1% от паропроизводительности котла, расход пара на собственные нужды котла 1%.

**Задача 4.** Определить производительность котла и выбрать его марку, если в блоке с газомазутным котлом работает турбина Т-110/120-12,8. Максимальный расход пара на турбину составляет 485 т/ч.

**Задача 5.** Выбрать РОУ, предназначенную для резервирования производственного отбора пара, если на проектируемой ТЭЦ будут установлены две турбины ПТ 80/100-12,8/1,3 и одна турбина ПТ140/165-12,8/1,5.

**Задача 6.**  Определить согласно Нормам технологического проектирования ТЭС производительность ХВО и соответствующего оборудования для подпитки тепловых сетей, если для нужд отопления отпускается 3500 ГДж/ч тепла, а система теплоснабжения закрытая. При расчёте объема воды в тепловых сетях наличие транзитных магистралей не учитывать.

**Задача 7.** Выбрать сетевые установки на ГРЭС с четырьмя турбинами К 500-23,5, если теплофикационная нагрузка ГРЭС Qгрэс = 400 ГДж/ч. Проверить условия надёжности работы выбранного оборудования.

**Задача 8.** Какими подогревателями системы регенерации комплектуется турбина ПТ 80/100-12,8/1,3?

**Задача 9.** Выбрать питательный насос для блока 800 МВт с прямоточным котлом и максимальным расходом питательной воды на блок Дпв = 2676 т/ч, если необходимое давление, развиваемое насосом Р = 34 МПа.

**Задача 10.** Для турбины Т 110/120-12,8 выбрать оборудование конденсационной установки, поставляемой в комплекте с турбиной (конденсатор, основные и пусковые эжектора, конденсатные насосы).

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В каком случае на КЭС применяется блочная схема главных паропроводов (котёл-турбина)? Основные требования НТП электрических станций, предъявляемые к выбору паровых турбин КЭС в зависимости от электрической нагрузки.
2. Как производится выбор котлов блочной КЭС согласно Нормам технологического проектирования тепловых электростанций?
3. Как выбирается тип деаэратора? На сколько минут должен быть рассчитан запас питательной воды в баках основных деаэраторов блочных ТЭС?
4. Какой тип привода применяется для питательных насосов на блоках с закритическими параметрами пара? На какую производительность рассчитываются питательные насосы?
5. Выбор сетевых подогревателей ГРЭС согласно НТП ТЭС. Условия надёжности работы сетевых подогревателей ГРЭС.
6. Что говорится о числе и производительности регенеративных подогревателей турбин в Нормах технологического проектирования ТЭС?
7. Как НТП определяют количество и производительность питательных насосов для электростанций с блоками на закритическое давление пара?
8. Внутристанционные и внешние потери пара и конденсата на ТЭС. Какие нормативные документы регламентируют величину потерь рабочего тела на станции?

Практическое занятие 5

**Расчёт сетевой установки ТЭЦ**

**Учебная цель**:

- закрепить полученные на лекционных занятиях представления о потребителях тепловой энергии;

- изучить способы регулирования параметров производства тепловой энергии;

- разобрать вопросы контроля параметров и объёма производства тепловой энергии.

Продолжительность занятия - 2 часа.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь:**

- читать технологические схемы ТЭС;

- выбирать и рассчитывать оборудование сетевой подогревательной установки;

- определять основные параметры теплоносителя;

- рассчитывать основные технико-экономические показатели работы вспомогательного оборудования ТЭС;

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:

- схемы и классификацию систем теплоснабжения;

- основные параметры теплоносителей;

- потребителей тепловой энергии, их характеристики и графики нагрузок;

- способы регулирования отпуска с горячей водой в соответствии с технологической схемой и величиной тепловой нагрузки.

**Рекомендуемые информационные источники:**

1. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций.- ВНТП-Т-88 Минэнерго СССР, - М.: ЦНТП Информэнерго, 1988. – 252 с.

2. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под. ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Санаева. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.; ил.; 24 см. – 1000 экз. – ISBN 978-5-383-00404-3.

3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов.- 7-е изд., стереот.- М.: Издательский дом МЭИ, 2001. 472 с.; ил.

4. Справочник по теплообменным аппаратам паротурбинных установок / Ю.М. Бродов, К.Э. Аронсон, А.Ю. Рябчиков, М.А Ниренштейн; под общ. ред. Ю.М. Бродова.-М.:Издательский дом МЭИ, 2008.- 480 с.; ил. ISBN 978-5-383-00079-3/

5. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн.1. Теплоэнергетика и теплотехника. Общие вопросы: справочник / под общ. Ред. Член – корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 4-е изд., стереот. – М.:Издательский дом МЭИ, 2007. – 528, [1] с.; 26,5 см. – 3000 экз. – ISBN 978-5-383-00016-8.

.

**Технические средства обучения:**

1.Электрифицированный стенд «Блочная схема турбины ПТ с регулируемыми отборами пара и барабанным котлом»

2. Электрифицированный стенд «Сетевая подогревательная установка»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ТИПОВЫЕ ПРИМЕРЫ**

**РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ**

На ТЭЦ с отопительной нагрузкой используют турбины с конденсацией и отборами пара.Выбор давления пара в отопительных отборах зависит от вида графиков температуры сетевой воды и отопительной нагрузки, а также способа покрытия пиковых нагрузок.

Основной подогрев сетевой воды осуществляется в двух последовательно включённых сетевых подогревателях, питаемым паром из двух отопительных (теплофикационных) отборов турбины. Давление в верхнем отборе регулируется обычно в пределах 0,06 – 0,25 МПа, в нижнем – в пределах 0,05 – 0,2МПа. Регулирование давления в отборах осуществляется поворотной диафрагмой, установленной за камерой нижнего отбора.

Если нижний теплофикационный отбор пара осуществляется из ЦСД турбины, то регулирующую диафрагму устанавливают перед входом пара в первую ступень ЦНД. Ступени турбины между двумя теплофикационными отборами образуют промежуточный, или теплофикационный отсек турбины.

Давление пара в верхнем теплофикационном отборе регулируется в соответствии с графиком подогрева воды в сетевой подогревательной установке, зависящим от вида температурного графика и значения ТЭЦ.

Подогрев в сетевой подогревательной установке подобно регенеративному подогреву распределяется примерно поровну при расчётном наиболее вероятном температурном режиме работы установки.

Распределение подогрева воды между ступенями происходит в зависимости от выбранных размеров поверхностей нагрева сетевых подогревателей и давления, устанавливающегося в нижнем теплофикационном отборе пара.

Современные теплофикационные турбины с регулируемыми отборами пара могут работать с полным использованием отработавшей теплоты. Конденсаторы этих турбин имеют дополнительную поверхность для предварительного подогрева обратной или подпиточной воды тепловой сети – так называемый встроенный теплофикационный пучок.

Вода из обратной линии тепловой сети поступает на ТЭЦ с давлением обычно 0,4 МПа. При наличии в конденсаторах турбины теплофикационных пучков она предварительно нагревается в них и затем сетевым насосом первого подъёма прокачивается через сетевые подогреватели.

После сетевых подогревателей насосами второго подъёма вода подаётся при низких температурах наружного воздуха через водогрейные котлы, а при повышенных температурах, минуя их, в тепловую сеть. Давление воды насосов второго подъёма зависит от протяжённости тепловой сети, рельефа местности, гидравлических сопротивлений сети и составляет примерно 2 МПа.

Давление воды за насосами первого подъёма определяется гидравлическим сопротивлением сетевых подогревателей и трубопроводов, а также условиями предотвращения вскипания подогретой воды перед насосами второго подъёма.

У каждой ступени сетевых подогревателей устраивают обводы воды, которые можно использовать для регулирования её температуры за ступенями.

Конденсат греющего пара из каждого сетевого подогревателя насосом отводится в основную линию конденсата турбины за РП, питаемым паром того же отбора.

Для удовлетворения норм ПТЭ вода, используемая для подпитки тепловых сетей, должна быть предварительно обработана. Химически очищенная вода для подпитки теплосети поступает в вакуумный деаэратор, в котором греющим рабочим телом является прямая сетевая вода. Решать вопрос о способе восполнения утечек в тепловой сети необходимо с учетом того, открытая или закрытая система водоснабжения.

Вопросам расчета сетевой установки ТЭЦ, а также выбору её оборудования согласно НТП необходимо уделить особое внимание, так как эти вопросы являются составными частями дипломного проекта.

**Пример 1.**  Определить расход пара на основные сетевые подогреватели трех турбин ТЭЦ, если в тепловой сети циркулирует сетевая вода в количестве 3000 т/ч, подогретая до 140 °С. Давление пара в теплофикационном отборе *P*т = 0,16 МПа, энтальпия пара 2700 кДж/кг. Пиковые нагрузки покрывают водогрейные котлы. Температура обратной сетевой воды *t*2 = 70 °С.

**Решение**

1. Количество тепла, отпускаемого на теплофикационные нужды,

МВт.

2. Температура сетевой воды после основного сетевого подогревателя

°С,

где °С – температура насыщения конденсата греющего пара при *P*т = 0,16 МПа;   
 Δ*t* = 5,3 °С – температурный недогрев.

3. Количество тепла, отдаваемого за счет пара теплофикационных отборов,

кВт = 132,7 МВт.

4. Расход пара на сетевые подогреватели ТЭЦ

кг/с = 219,2 т/ч.

5. Так как на ТЭЦ установлены три турбины, то расход пара на сетевые подогреватели одной турбины составит т/ч.

**Пример 2.** Определить, какое количество сетевой воды следует подать в вакуумный деаэратор подпитки теплосети для нормального процесса деаэрации, если температура сетевой воды *t*с.в = 110 °С, количество умягченной воды, поступающей в деаэратор, *D*х.о.в = 120 т/ч с температурой *t*х.о.в= 29 °С. Давление в деаэраторе *P*д = 0,0082 МПа

**Решение**

|  |  |
| --- | --- |
| *D*с.в,*h*с.в  *D*х.о.в,*h*х.о.в  *D*д.в, | Уравнение материального баланса деаэратора:  *D*д.в = *D*с.в + *D*х.о.в.  (1)  Уравнение теплового баланса деаэратора:    (2)  Подставляем в уравнение (2) *D*д.в, выраженное через уравнение (1), |

и решаем его в отношении *D*с.в:

т/ч.

**ЗАДАНИЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ 5**

После изучения теоретических основ данного материала необходимо решить предложенные задачи и ответить на теоретические вопросы.

**Задача 1.** Определить согласно Нормам технологического проектирования ТЭС производительность ХВО подпитки теплосети для закрытой системы теплоснабжения без учета транзитных магистралей, если теплофикационная нагрузка ТЭЦ Qтэц = 3000 ГДж/ч, а также выбрать марку вакуумного деаэратора в схеме подпитки.

**Задача 2.** Выбрать баки запаса подготовленной подпиточной воды на ТЭЦ с теплофикационной нагрузкой Qтэц = 4200 ГДж/ч. Подобрать к ним насосы.

**Задача 3.** Выбрать количество и марку насосов сетевой воды для ТЭЦ с теплофикационной нагрузкой для нужд отопления Qот = 1700 ГДж/ч и горячего водоснабжения Qгв = 400 ГДж/ч. Температурный график теплосети 150/70. Принять групповую установку сетевых насосов.

**Задача 4.** Правила выбора основных подогревателей сетевой воды на ТЭЦ в соответствии с НТП. Какими сетевыми подогревателями и конденсатными насосами ПСГ комплектуется турбина Т 110/120-12,8?

**Задача 5.** Суммарная теплофикационная нагрузка отопительных отборов турбины Т 110/12-12,8 Σ= 732 ГДж/ч. По диаграмме режимов турбины Т 110/12-12,8 определить расход пара на турбину, если тепловая нагрузка составляет Σ= 460 ГДж/ч, если Σ= 0?

**Задача 6.** Определить количество сетевой воды, которое необходимо подать в вакуумный деаэратор подпитки теплосети для нормального процесса деаэрации, если температура сетевой воды 113°С, количество умягченной воды, поступающей в деаэратор, *D*хов = 460 т/ч с температурой

35 °С. Давление в деаэраторе *P*д = 0,0075 МПа.

**Задача 7.** Определить расход пара на основные сетевые подогреватели с расходом воды 4000 т/ч. Параметры отборов пара *P*в = 0,169 МПа, *h*в = 2630 кДж/кг, *P*н = 0,0845 МПа, *h*н = 2540 кДж/кг. Температура сетевой воды: после нижнего подогревателя 90 °С, после верхнего подогревателя 110 °С. Температура обратной сетевой воды 70 °С.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Покажите цикл подогрева сетевой воды в тепловой схеме турбоустановки на электрифицированном стенде «Блочная схема турбины ПТ с регулируемыми отборами пара и барабанным котлом»
2. Каким образом регулируется давление пара в теплофикационных отборах?
3. Каково назначение встроенного пучка конденсатора турбины Т110/120-12,8?
4. Какая связь между давлением пара в регулируемом отборе и температурой подогрева сетевой воды?
5. В чём разница между открытой и закрытой системами теплоснабжения?
6. Устанавливается ли РОУ для резервирования отопительного отбора?
7. Каковы особенности нагрева сетевой воды на ТЭЦ с турбоустановками Т и ПТ?
8. Выбор сетевых подогревателей на ТЭЦ согласно НТП.
9. Условия выбора сетевых насосов ТЭЦ, определение их типа и количества.
10. Выбор оборудования подпитки теплосети в соответствии с НТП.